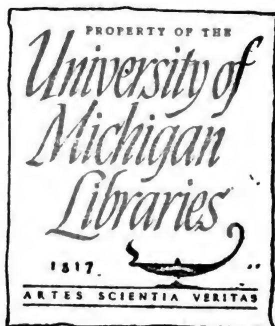
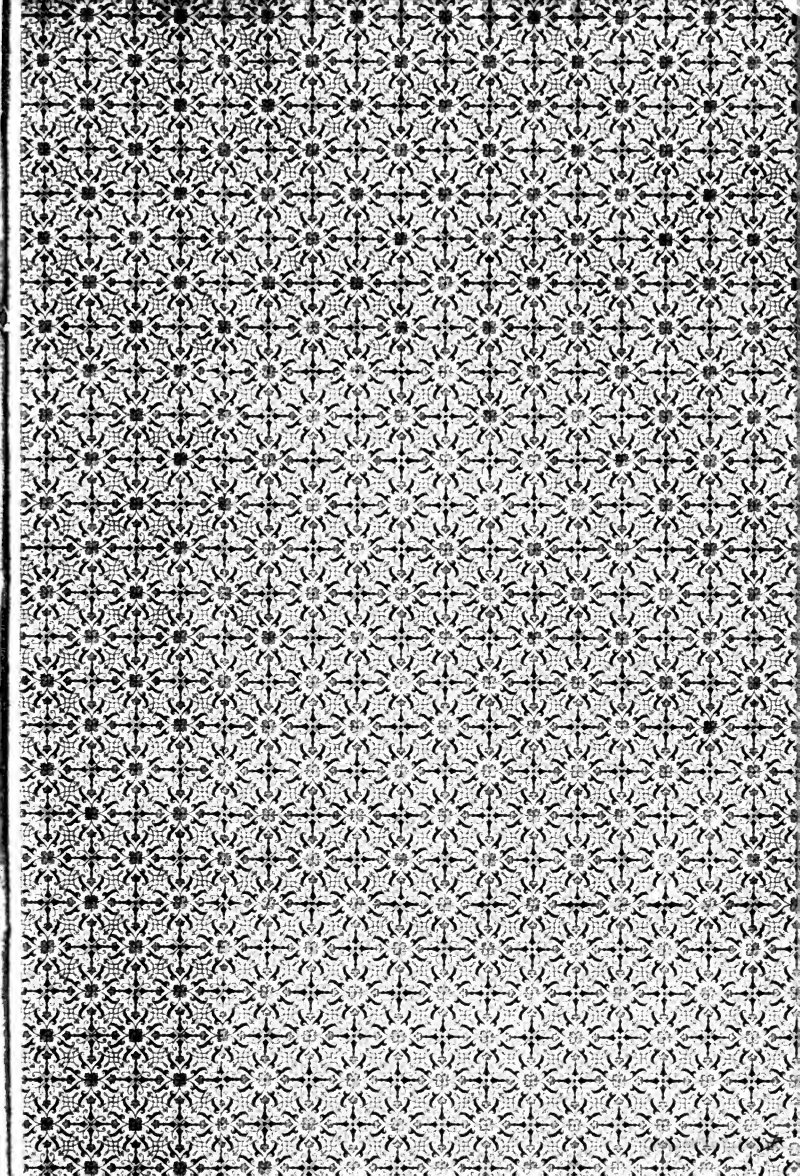
Die optischen Anomalien der Krystalle

Reinhard Brauns


PROPERTY OF THE
University of
Michigan
Libraries
1817
ARTES SCIENTIA VERITAS



Herrn Geheimrath
Professor Dr. F. Zirkel

in hoher Verehrung
gewidmet

vom Verfasser.

PREISSCHRIFTEN

GEKRÖNT UND HERAUSGEGEBEN

VON DER

FÜRSTLICH JABLONOWSKI'SCHEN GESELLSCHAFT

ZU LEIPZIG.



Nr. XI. der mathematisch-naturwissenschaftlichen Section.

XXIX. Reinhard Brauns, Die optischen Anomalien der Krystalle.

MIT SECHS TAFELN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL

1891.

DIE

OPTISCHEN ANOMALIEN

DER KRYSTALLE

VON

D[R.] REINHARD BRAUNS,
PRIVATDOCENTEN AN DER UNIVERSITÄT MARBURG.

Motto: Wo Parteien entstehen, hält Jeder sich hüben und drüben;
Viele Jahre vergehn, eh' sie die Mitte vereint.
Goethe.

MIT SECHS TAFELN.

GEKRÖNTE PREISSCHRIFT.

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL
1891.

Auf die von der Fürstlich Jablonowski'schen Gesellschaft gestellte Preisaufgabe:

Die Gesellschaft wünscht eine übersichtliche und kritische Zusammenstellung der auf die »optischen Anomalien« der Krystalle bezüglichen bisherigen Forschungen, sowie die Ausführung neuer Untersuchungen, welche geeignet sind, die Ursachen jener anomalen Erscheinungen näher zu erläutern,

eingereicht und gekrönt im März 1891.

VORWORT.

Die für das Jahr 1890 von der Fürstlich Jablonowski'schen Gesellschaft gestellte Preisaufgabe lautet:

»Die Gesellschaft wünscht eine übersichtliche und kritische Zusammenstellung der auf die ‚optischen Anomalien' der Krystalle bezüglichen bisherigen Forschungen, sowie die Ausführung neuer Untersuchungen, welche geeignet sind, die Ursachen jener anomalen Erscheinungen näher zu erläutern.«

Die vorliegende Abhandlung zerfällt der gestellten Aufgabe entsprechend in zwei Theile; der erste Theil soll eine »übersichtliche und kritische Zusammenstellung der auf die ‚optischen Anomalien' der Krystalle bezüglichen bisherigen Forschungen« enthalten.

Ich habe versucht, diese Aufgabe in der Weise zu lösen, dass ich die Entwicklung unseres Wissens von den optischen Anomalien von den Anfängen bis auf die neueste Zeit dargestellt, alle einschlagenden Beschreibungen aber auf den zweiten Theil verspart habe.

In der Entwicklung der Lehre von den optischen Anomalien nimmt die von E. Mallard im Jahre 1876 veröffentlichte Abhandlung: »Explication des phénomènes optiques anomaux que présentent un grand nombre de substances cristallisées« durch den reichen Inhalt und die Neuheit der entwickelten Anschauungen eine so wichtige Stelle ein, dass es sachgemäss scheint, die Darstellung nach ihr so zu gliedern:

1) Zeit vor Mallard,
2) Hypothese Mallard's,
3) Anhänger und Gegner der Mallard'schen Hypothese.

Die Literatur der ersten Periode habe ich der Behandlung vorausgeschickt und nach der Zeit geordnet; die Zahlen in der Abhandlung weisen auf die vorgesetzten Nummern. Ich hoffe, dass mir keine wichtige Arbeit entgangen ist.

Die Literatur der dritten Periode habe ich nur soweit angeführt, als sie für die Entwicklung wichtig ist, ohne dass ich hiermit die nicht aufgeführten Arbeiten als unwichtig bezeichnen wollte; sie behandeln meistens einzelne Mineralien und sind bei diesen zu finden. Immer war es mein Bestreben, den Stoff den Quellen zu entnehmen.

Der zweite Theil der Aufgabe verlangt »die Ausführung neuer Untersuchungen, welche geeignet sind, die Ursachen jener anomalen Erscheinungen näher zu erläutern«.

Ich habe in diesen Theil fast alle anomalen Krystalle der Mineralien und der im Laboratorium dargestellten Verbindungen aufgenommen und sie nach der Ursache der Anomalien zusammengestellt, diejenigen aber, von welchen die Ursache der Anomalien noch nicht bekannt ist, in einem Anhang alphabetisch geordnet angefügt, und solche, welche bis jetzt nicht wichtig sind und nur beiläufig in der Abhandlung erwähnt werden, gar nicht weiter berücksichtigt. Im Register finden sich alle.

Der zweite Theil enthält altes und neues. Vielfach konnte ich der von Andern gegebenen Beschreibung und Erklärung nichts neues hinzufügen, um aber eine vollständige und »übersichtliche Zusammenstellung« geben zu können, glaubte ich, auch solche Fälle aufnehmen zu sollen; in andern Fällen habe ich der Beschreibung nichts neues hinzufügen können, bin aber doch zu einer andern Auffassung gekommen als diejenigen, welche sich besonders mit dem betreffenden Mineral beschäftigt haben; in vielen Fällen habe ich das, was wir bisher von dem optisch anomalen Verhalten der Krystalle wussten, durch Mittheilungen neuer Beobachtungen vermehren und die Ursache der Anomalien durch geeignete Versuche bisweilen ermitteln können. Nicht immer habe ich das alte und neue scharf getrennt, da ich fürchtete, dass hierunter die Darstellung leiden möchte; ich glaube, dass man auch ohne diese Trennung beides genügend auseinander halten kann und hoffe, dass die Menge des alten das neue nicht übermässig unterdrückt.

Die Literatur, soweit sie auf optische Anomalien der betreffenden Krystalle Bezug hat, ist jedesmal, nach der Zeit geordnet, der Beschreibung vorangestellt; hierbei ist für diejenigen Angaben, welche schon dem ersten Theil vorausgeschickt waren, also der Zeit vor 1876 angehören, der Titel der Arbeit weggelassen und nur der Name der Zeitschrift und das Jahr angegeben. Die späteren Arbeiten sind, wie die im ersten Theil, mit vollem Titel aufgeführt.

In dem Register sind die Seitenzahlen angegeben, auf denen die betreffende Substanz erwähnt oder besprochen wird; bei wiederholt erwähnten

Namen weisen die fett gedruckten Zahlen auf die Stellen des zweiten Theils, an welchen die ausführliche Besprechung sich findet.

Die Abbildungen sollen das Verhalten der Krystalle im parallelen und convergenten polarisirten Licht vor Augen führen. Wir befolgen hierbei in der Regel die von C. Klein in seinen Arbeiten durchgeführte Methode; oft sind die Abbildungen seinen Abhandlungen oder denen Anderer entnommen.

Handelt es sich nur darum, die Schwingungsrichtungen innerhalb einer Platte anzugeben, so geschieht dies durch das Zeichen ●—●.

Vielfach aber ist es wichtig, dass man aus der Abbildung ersehen kann, welches innerhalb der Plattenebene die Richtung der grösseren und welches die der kleineren optischen Elasticitätsaxe ist. Zur Bestimmung dieser kann man bekanntlich einen Quarz- oder Gypskeil benutzen; in den meisten Fällen reicht für uns schon ein empfindliches Gypsblättchen aus, da die Interferenzfarben selten so hoch sind, dass man zur Compensation dickere Platten nöthig hätte. Wir haben immer ein Gypsblättchen vom Roth I. Ordnung benutzt und dies ausnahmslos so in den Apparat eingeschaltet, dass die kleinste Elasticitätsaxe desselben (*MM* in Figur 1) von links vorne nach rechts hinten verläuft. In meinen Abbildungen werden die Felder, über denen bei einer bestimmten Lage der Platte die Farbe des eingeschalteten Gypsblättchens steigt, in denen also die kleinere Elasticitätsaxe die Richtung von *MM* der Figur 1 hat, getüpfelt, die, über welchen die Farben fallen, hell gelassen. Die Theile, welche sich in der Auslöschungslage befinden, werden schraffirt, und die, welche in allen Lagen dunkel bleiben, gleichmässig dunkel gehalten; sind sie einaxig und senkrecht zur Axe, so wird ein schwarzes Kreuz eingezeichnet.

In zweiaxigen Theilen, die senkrecht zur ersten Mittellinie getroffen sind, wird die Richtung der optischen Axenebene durch das Zeichen ○—○, und in solchen, die senkrecht oder schief zu einer optischen Axe getroffen sind, der Austritt einer optischen Axe durch das Zeichen ɸ angedeutet. Eine Erklärung der Abbildungen findet sich am Ende des Werkes auf Seite 363.

Die in der Abhandlung mitgetheilten neuen Beobachtungen habe ich in den letzten Jahren im mineralogischen Institut der Universität Marburg angestellt, dessen reiche Präparatensammlung und Instrumente mir von Herrn Professor Dr. M. Bauer, bereitwilligst wie immer, zur Benutzung überlassen waren.

Durch die vorliegende Zusammenstellung dessen, was wir jetzt über die optischen Anomalien der Krystalle wissen, hoffe ich zu erreichen, dass

diese nicht mehr von einem einseitigen Standpunkt aus beurtheilt werden. Nur wenn wir uns von den beobachteten Thatsachen leiten lassen, werden wir zu einer richtigen Auffassung kommen; bis dahin bedarf es noch vieler Untersuchungen, für jetzt ist unser Wissen auch hier noch lückenhaft. Die Erklärung der Erscheinungen beruht nicht immer auf Beweisen, sondern auf Analogieschlüssen und dadurch drängt sich die subjective Ansicht mehr vor, als es wünschenswerth ist. Ich bin mir dieses Fehlers wohl bewusst, konnte ihn aber bei dem jetzigen Standpunkt unseres Wissens nicht vermeiden und kann nur um Nachsicht bei der Beurtheilung bitten.

Marburg im September 1891.

R. Brauns.

INHALT.

Erster Theil.

Zweiter Theil.

ABKÜRZUNGEN.

A. Chim.	= Annales de Chimie et de Physique.
A. M.	= Annales de Mines.
Anom. opt.	= Explication des phénomènes optiques anomaux que présentent un grand nombre de substances cristallisées par E. Mallard.
Bull. min.	= Bulletin de la société minéralogique de France 1878—1885, von 1886 an: Bulletin de la société française de minéralogie.
C. r.	= Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Paris.
Ed. J.	= The Edinburgh Philosophical Journal.
Ed. Trans.	= Transactions of the Royal Society of Edinburgh.
G. A.	= Gilbert's Annalen der Physik.
Gött. Nachr.	= Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg-Augusts-Universität zu Göttingen.
N. Jb.	= Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie.
Nouv. rech.	= Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux, par A. Des Cloizeaux.
P. A.	= Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie.
Phil. Mag.	= The London, Edinburgh (and Dublin) Philosophical Magazine and Journal of Science.
Phil. Trans.	= Philosophical Transactions of the Royal Society of London.
Pol. lam.	= Mémoire sur la polarisation lamellaire par B. Biot.
S. W. A.	= Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Wien.
Schw. J.	= Schweigger's Journal für Chemie und Physik.
T. M. M.	= Mineralogische und petrographische Mittheilungen, herausgegeben von G. Tschermak.
W. A.	= Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie.
Z. g. G.	= Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft.
Z. Kr.	= Zeitschrift für Krystallographie u. Mineralogie, herausgegeben von P. Groth.

Einleitung.

Unter optischen Anomalien der Krystalle verstehen wir Abweichungen von dem einer krystallisirten Substanz eigenthümlichen, oder dem durch die Symmetrie der Form bestimmten optischen Verhalten, und betrachten das optische Verhalten auch dann noch als der Substanz eigenthümlich, wenn es durch isomorphe Beimischung proportional mit der Menge der Beimischung gesetzmässig geändert wird.

Anomal sind daher alle Krystalle, welche reguläre Form besitzen und doppelbrechend sind. Boracit, Steinsalz, Sylvin, Zinkblende, Diamant, Blei- und Baryumnitrat, die Alaune und die Granaten etc. sind, wenn sie doppelbrechend sind, alle anomal, mag auch die Ursache der Doppelbrechung eine ganz verschiedene sein. Reguläre Krystalle würden auch dann als anomal zu bezeichnen sein, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes durch einen allseitig gleichmässigen Druck geändert wäre, die Krystalle selbst aber noch einfachbrechend wären. Solche Fälle sind nicht bekannt und kaum möglich.

Hexagonale und quadratische Krystalle sind anomal, wenn sie optisch zweiaxig sind, rhombische, wenn die optischen Elasticitätsaxen nicht mehr in die krystallographischen Symmetrie-Ebenen fallen.

Die gegebene Definition umfasst auch trikline Krystalle; solche würden als anomal zu bezeichnen sein, wenn die optischen Eigenschaften nicht der triklin krystallisirten Substanz eigenthümlich sind.

Mimetisch dagegen nennen wir solche Krystalle, welche durch Form und Zwillingsbildung höhere Symmetrie nachahmen, als sie in Wirklichkeit besitzen; z. B. Aragonit, Witherit, Strontianit sind mimetisch-hexagonal, aber rhombisch.

Die typisch anomalen Krystalle sind höher symmetrisch als sie scheinen, die mimetischen scheinen höher symmetrisch als sie sind.

Der Unterschied zwischen beiden ist scharf und klar, so lange die Flächenbeschaffenheit mit absoluter Sicherheit die Symmetrie der Form zu bestimmen gestattet. Dies ist aber nicht immer der Fall. Wäre es der Fall, so würde unsere erste Gruppe nicht zu den anomalen Krystallen zu rechnen sein; sie verbindet die anomalen Krystalle mit den mimetischen.

Es giebt nämlich eine Reihe von Substanzen, deren Krystalle durch ihre Form an der Grenze zweier Systeme stehen, die, wie man sagt, eine Grenzform besitzen; die Flächenbeschaffenheit gestattet oft nicht mit Sicherheit zu entscheiden, ob sie diesem oder jenem System zugehören. Die optische Untersuchung entscheidet in vielen Fällen: Aragonit, Witherit, schwefelsaures Kali sind immer als nicht hexagonal leicht zu erkennen, da die optischen Eigenschaften in einem einfachen Krystall oder in einem Zwilling innerhalb eines jeden Individuums immer dieselben und die für einen zweiaxigen Krystall charakteristischen sind. Andere Krystalle mit einer Grenzform aber haben die Eigenschaft, so lamellar mit einander zu verwachsen, dass in den abwechselnden Lamellen die fast gleichen Richtungen mit einander vertauscht sind. Hierdurch aber wird die Symmetrie der Form und die Symmetrie der optischen Eigenschaften erhöht, und man ist in Zweifel, ob die Krystalle so symmetrisch sind, wie sie scheinen, oder nicht. Solche Krystalle rechnen wir daher zu den anomalen; sie gehen, wie gesagt, in die mimetischen über.

Auch wirklich anomale Krystalle scheinen bisweilen wie mimetische gebaut zu sein, z. B. mancher Granat oder Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat. Sie unterscheiden sich aber von mimetischen in wesentlichen Punkten:

Die Form ist höher symmetrisch, als die optischen Eigenschaften andeuten; sie ist in den genannten Beispielen unzweifelhaft regulär.

Die Doppelbrechung der regulären, die Zweiaxigkeit der hexagonalen und quadratischen anomalen Krystalle etc. ist ihrer Substanz nicht eigenthümlich, sondern ihr Auftreten ist von gewissen Bedingungen abhängig. Nach diesen Bedingungen gruppiren wir die anomalen Krystalle.

Die optischen Eigenschaften der anomalen Krystalle sind nicht constant, sondern je nach, oft zufälligen, Umständen verschieden; sie sind z. B. in gewissen Fällen von den Flächen abhängig, welche den Krystall begrenzen. Nicht nur die Zahl der scheinbaren Individuen hängt hiervon ab, sondern auch die Art und der Charakter der Doppelbrechung. Derselbe Mischkrystall von Blei- und Baryumnitrat kann optisch einaxig, positiv nach den Octaëderflächen, zweiaxig negativ nach andern Flächen (Pyritoëderflächen) sein. Etwas ähnliches hat man bei mimetischen Krystallen nie beobachtet.

Die anomalen Krystalle sind oft von Sprüngen durchsetzt und zerspringen leicht, mimetische nicht.

Trotz dieser Unterschiede können immerhin Fälle vorkommen, in denen es zweifelhaft bleiben kann, ob mimetische oder optisch anomale Krystalle vorliegen, namentlich, wenn man nur den Krystall, so wie er ist, untersuchen und nicht seine Entstehung und sein Wachsthum unter wechselnden Bedingungen verfolgen kann.

Da wir in den mimetischen Krystallen gesetzmässige Verwachsungen und nichts Anomales erblicken, so sind diese von der Behandlung ausgeschlossen.

Ebenso sind diejenigen Krystalle von den optisch anomalen zu trennen, in denen das optische Verhalten durch eingeschaltete Zwillingslamellen

gestört erscheint, denn es sind ja die optischen Eigenschaften der Krystallmasse nicht geändert, sie sind an den von Zwillingslamellen durchsetzten Stellen dieselben, wie an den von Zwillingslamellen freien Stellen; es kann z. B. ein von Zwillingslamellen durchsetzter Kalkspath an jeder Stelle einaxig sein, gleichwohl erscheinen die im polarisirten Licht auftretenden Erscheinungen gestört, namentlich das Interferenzbild deformirt; dies beruht darauf, dass die Zwillingslamellen anders orientirt sind, wie die Hauptmasse des Krystalls. Eigentliche Anomalien können in diesen Fällen dann auftreten, wenn die Umlagerung einer Lamelle in die Zwillingsstellung nicht durch den ganzen Krystall vollständig erfolgt ist; dann können zu beiden Seiten der Zwillingslamelle Spannungen eintreten, die sich durch Anomalien äussern. Auch können die Krystalle, so gut wie irgend welche andere, an den von Zwillingslamellen freien Stellen schon anomal sein. Solche Anomalien haben wir zu berücksichtigen.

Ausgeschlossen von der Betrachtung sind ferner diejenigen Krystalle, in denen die optischen Erscheinungen dadurch gestört erscheinen, dass viele Individuen in nicht ganz paralleler Stellung zu einem Krystall vereinigt sind: denn hierbei behält jedes Individuum seine charakteristischen Eigenschaften bei. Reguläre Krystalle würden z. B. durch hypoparallele Verwachsung allein niemals doppelbrechend werden; hieraus sieht man, dass durch hypoparallele Verwachsung eigentliche Anomalien nicht entstehen können, wenn auch das optische Verhalten solcher Krystalle, wie z. B. von Vesuvian, gestört erscheint.

Obwohl wir alle diese bisweilen recht erheblichen Störungen der optischen Erscheinungen nicht als optische Anomalien betrachten, bleibt doch die Zahl der optisch anomalen Krystalle eine recht grosse.

Nächst den Krystallen, in welchen die optischen Eigenschaften durch vielfache Ueberlagerung verschieden orientirter Lamellen andere sind, als in den einfachsten Krystallen derselben Substanz, betrachten wir als optisch anomal solche Krystalle, deren Substanz, wie bei Boracit, dimorph ist und innerhalb der ursprünglichen Form in die andere Modification umgewandelt ist; das optische Verhalten dieser Krystalle entspricht nicht der Symmetrie der Form. Die hierher gehörigen Krystalle verbinden die anomalen Krystalle mit den Pseudomorphosen, speciell mit den Paramorphosen und unterscheiden sich von diesen äusserlich nur dadurch, dass die die Form ausfüllende Modification nicht in idiomorphen Individuen ausgebildet und überhaupt in solchen bis jetzt nicht bekannt ist, und dass die Form von der einen Modification scheinbar ebenso vollständig und lückenlos ausgefüllt wird, wie von der anderen. Deswegen hauptsächlich blieb die wahre Natur dieser Krystalle so lange verborgen, während andere Paramorphosen, wie die von Rutil nach Brookit und Anatas, schon seit längerer Zeit richtig erkannt sind. Ob der weitere Unterschied, der darin besteht, dass bei unseren Krystallen die eine Modification durch Temperaturänderung beliebig oft in die andere übergeführt werden kann, in den andern nicht, wesentlich oder nur in der Unzulänglichkeit unserer Experimente oder Anschauungen begründet ist, muss hier unentschieden bleiben.

Typisch optisch anomal sind namentlich solche Krystalle, deren optische Eigenschaften durch innere Spannungen, wie mechanischen Druck oder ähnliche Kräfte geändert sind. Wenn ich in Zinkblende durch schwachen Druck Doppelbrechung hervorrufe, und die doppelbrechenden Theile im übrigen alle Eigenschaften der einfachbrechenden Zinkblende besitzen, so sind sie regulär wie diese, nur optisch anomal. Wenn ich in Steinsalz durch schnelle Kühlung Spannungen hervorrufe und diese Doppelbrechungen zur Folge haben, so ist das Steinsalz regulär wie vorher, aber optisch anomal; und wenn um Einschlüsse herum durch einen von ihnen ausgehenden Druck die optischen Eigenschaften eines Krystalls geändert werden, so ist er an diesen Stellen optisch anomal. Wenn isomorphe Mischkrystalle optische Eigenschaften besitzen, welche keinem der Componenten zukommen, auch nicht durch Addition oder Subtraction der Eigenschaften ihrer Componenten zu Stande kommen können, so sind diese Krystalle optisch anomal. Wenn z. B. reguläre Krystalle durch isomorphe Beimischung doppelbrechend sind, so sind sie optisch anomal.

Optisch anomal werden schliesslich auch wohl solche Krystalle genannt, in denen die optischen Eigenschaften durch Wasserverlust geändert sind, die Form aber erhalten geblieben ist. Jedoch gehören diese schon nicht mehr in Strenge zu den (nach unserer Definition) anomalen, da der Wassergehalt für eine krystallisirte Verbindung charakteristisch ist, und eine Substanz nur mit einem bestimmten Wassergehalt in einer bestimmten Form mit bestimmten Eigenschaften auftritt. Aendert sich der Wassergehalt, so können sich auch die Eigenschaften ändern. Wenn z. B. Analcim durch Wasserverlust doppelbrechend wird, so können wir nicht sagen, der Analcim in diesem Zustand ist optisch anomal, denn die wasserärmere Substanz ist nicht mehr Analcim. Wir könnten eher von einer Pseudomorphose der wasserärmeren Substanz nach Analcim sprechen.

Nach der Ursache der Anomalien ordnen wir die Krystalle in verschiedene Gruppen. Die Anordnung in jeder Gruppe erfolgt weder nach dem Alphabet noch nach dem Krystallsystem, sondern so, dass die Krystalle, welche die Eigenschaften der Gruppe am besten erläutern, vorangestellt werden und die andern sich anschliessen. Aus diesem Grund beginnt die erste Gruppe mit Ferrocyankali, die zweite mit Boracit, die dritte mit Steinsalz, die vierte mit den Nitraten.

Diese Anordnung ist allerdings wenig übersichtlich, sie schien mir aber, wenn ich so sagen darf, aus didaktischen Gründen einer andern vorzuziehen. Das Register am Schluss wird die Auffindung erleichtern.

Erster Theil.

A. Zeit vor Mallard

1813—1876.

Literatur.

1813.

1. Seebeck. Einige Versuche und Beobachtungen über Spiegelung und Brechung des Lichtes. Schw. J. VII. p. 259—298. 1813.

2. Brewster. On the Affections of Light transmitted through crystallized Bodies. (Read 23. XII. 1813.) Phil. Trans. 1814, I. p. 187—218.

1814.

3. Seebeck. Von den entoptischen Farbenfiguren und den Bedingungen ihrer Bildung in Gläsern. Schw. J. XII. p. 1—16. 1814.

4. Brewster. On new Properties of light exhibited in the optical Phenomena of Mother of Pearl, and other Bodies to which the superficial structure of that Substance can be communicated. (Read 28. IV. 1814.) Phil. Trans. 1814, II. p. 397—418.

5. —— Results of some recent Experiments on the Properties impressed upon Light by the Action of Glass raised to different Temperatures, and cooled under different Circumstances. (Read 19. V. 1814.) Phil. Trans. 1814, II. p. 436—439.

6. —— Additional observations on the optical properties and structure of heated glass and unannealed glass drops. (Read 10. XI. 1814.) Phil. Trans. 1815, I. p. 1—8.

7. —— Experiments on the depolarisation of light as exhibited by various mineral, animal and vegetable bodies, with a reference of the phenomena to the general principles of polarisation. (Read 15. XII. 1814.) Phil. Trans. 1815, I. p. 29—53.

1815.

8. Brewster. On the effects of simple pressure in producing that species of crystallization which forms two oppositely polarised images and exhibits the complementary colours by polarised light. (Read 19. I. 1815.) Phil. Trans. 1815, I. p. 60—64.

9. —— On the Optical Properties of Muriate of Soda, Fluate of Lime, and the Diamond, as exhibited in their action upon Polarised Light. (Read 20. XI. 1815.) Ed. Trans. Vol. VIII, I. p. 155—164. 1817.

1816.

10. Biot. Traité de physique expérimentale et mathématique. Paris 1816. Bd. IV. p. 573.

11. Brewster. On new properties of heat, as exhibited in its propagation along plates of glass. (Read 11. I. 1816.) Phil. Trans. 1816, I. p. 46—114.

12. Brewster. On the communication of the structure of doubly refracting crystals to glass, muriate of soda, fluor spar, and other substances, by mechanical compression and dilatation. (Read 29. II. 1816.) Phil. Trans. 1816, I. p. 156—178.

13. —— On the Laws which regulate the Distribution of the Polarising Force in Plates, Tubes, and Cylinders of Glass, that have received the Polarising Structure. (Read 17. VI. 1816.) Ed. Trans. Vol. VIII, II. p. 354—371. 1818.

14. —— On the structure of the crystalline lens in fishes and quadrupeds, as ascertained by its action of polarised light. (Read 20. VI. 1816.) Phil. Trans. 1816, I. p. 311—317.

15. —— On the Effects of Compression and Dilatation in altering the Polarising Structure of Doubly Refracting Crystals. (Read 17. XI. 1816.) Ed. Trans. Vol. VIII, II. p. 218—286. 1818.

16. Meinecke. Brewster's neueste Untersuchungen über Depolarisation des Lichtes. Schw. J. XVII. p. 135—153. 1816.

1818.

17. Brewster. On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies. (Read 15. I. 1818.) Phil. Trans. 1818, I. p. 199—273.

1819.

18. Brewster. On a New Optical and Mineralogical structure, exhibited in certain specimens of Apophyllite and other minerals. Ed. J. I. p. 1—8. 1819.

19. —— On Circular Polarisation, as exhibited in the Optical Structure of the Amethyst, with Remarks on the Distribution of the Colouring Matter in that Mineral. (Read 15. XI. 1819.) Ed. Trans. Vol. IX, I. p. 139—152. 1821.

20. —— On the Connection between the Primitive Forms of Crystals and the Number of their Axes of Double Refraction. (Read 20. III. 1819.) Memoirs of the Wernerian natural history society. Edinburgh. Vol. III. p. 50—74.

1820.

21. Brewster. Additional Observations on the Connection between the Primitive Forms of Minerals and the Number of their Axes of Double Refraction. (Read 5. VIII. 1820.) Ebenda, Vol. III. p. 337—350. — Auszug aus 20. und 21. in G. A. Bd. 69 (9). p. 1—30. 1821.

22. —— Notice respecting a Singular Structure in the Diamond. Ed. J. III. p. 98—100. 1820 und G. A. 83 (7). p. 484. 1826.

1821.

23. Brewster. Account of a Remarkable Structure in Apophyllite, with Observations on the Optical Peculiarities of that Mineral. (Read 21. IV. 1817, 5. III. u. 17. XII. 1821.) Ed. Trans. Vol. IX, II. p. 317—336. 1823, mit 22 Abbildungen auf Taf. XX u. XXI.

24. —— A new Primitive Form detected in Boracite. Ed. J. V. p. 217. 1821.

25. —— Optical Properties of Leucite or Amphigene. Ebenda p. 218.

26. —— On the distribution of the colouring matter and on certain peculiarities in the structure and optical properties of the Brazilian topaz. Trans. of the Cambridge Phil. Soc. 1822 und G. A. Bd. 69 (9). p. 169. 1821.

27. —— On the Connexion between the Optical Structure and Chemical Composition of Minerals. Ed. J. V. p. 1—8. April—October 1821 und G. A. Bd. 69 (9). p. 157—167. 1821.

1822.

28. Brewster. On a New Species of Double Refraction, accompanying a remarkable Structure in the Mineral called Analcime. (Read 7. I. 1822). Ed. Trans. X. p. 187—194. 1826.

1830.

29. Brewster. On the production of regular double refraction in the molecules of bodies by simple pressure; with observations on the origin of the doubly refracting structure. (Read 11. II. 1830.) Phil. Trans. 1830, I. p. 87—95 und P. A. XIX. p. 527—538. 1830.

1831.

30. Brewster. A Treatise on optics. London 1831.

1835.

31. Brewster. Observations relative to the Structure and Origin of the Diamond. Phil. Mag. VII. Juli—December 1835. p. 245—250 und P. A. 36. p. 564. 1835.

1836.

32. Johnston. On the probable Cause of certain Optical Properties observed by Sir David Brewster in Crystals of Chabasite. Phil. Mag. IX. p. 166—170. 1836.

33. Brewster. Observations relative to the preceding Paper. Ebenda, p. 170.

1837.

34. Babinet. Über die optischen Kennzeichen der Minerale. P. A. 41. p. 126. 1837 und C. r. 1837, I. p. 758.

1841.

35. Biot. Memoire sur la polarisation lamellaire. Lu à l'Académie des Sciences, le 31 Mai 1841 et séances suivantes. Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France. T. XVIII. p. 539—725. — Kurze Auszüge in C. r. XII u. XIII.

36. F. E. Neumann. Gesetze der Doppelbrechung des Lichtes in comprimirten oder ungleichförmig erwärmten unkrystallinen Körpern. P. A. 54. p. 449.

1845.

37. Brewster. On the Modification of the Doubly Refracting and Physical Structure of Topaz, by Elastic Forces emanating from Minute Cavities. (Read 20. I. 1845.) Ed. Trans. XVI. p. 7—9. 1849.

1846.

38. Biot-Mitscherlich. Note de M. Biot sur deux produits chimiques obtenus par M. Mitscherlich. C. r. Juli—December 1846. p. 902.

1847.

39. Abbé Moigno. Répertoire de l'optique moderne. 4 Bde. Paris-Leipzig 1847—50.

1851.

40. Salm-Horstmar. Über das Verhalten einiger Krystalle (Beryll) gegen polarisirtes Licht. P. A. 84. p. 515.

1852.

41. W. Wertheim. Über die in Krystallen des regulären Systems künstlich erzeugte Doppelbrechung. P. A. 86. p. 325—329. — Aus C. r. XXXIII. p. 576.

42. —— Zweite Notiz über die in Krystallen des regulären Systems künstlich erzeugte Doppelbrechung. P. A. 87. p. 498—500. — Aus C. r. XXXV. p. 276.

1853.

43. Brewster. On the Crystals and Cavities in Garnet. Phil. Mag. 4. Ser. Vol. VI. p. 271—272. Ed. Trans. XX. p. 552. 1853.

1854.

44. Th. Scheerer. Der Paramorphismus und seine Bedeutung in der Chemie, Mineralogie und Geologie. Braunschweig 1854. p. 60.

45. O. Volger. Über die Erscheinungen der Aggregatpolarisation im Boracit. P. A. 92. p. 77—94. 1854.

1855.

46. O. Volger. Versuch einer Monographie des Boracits p. 53—57. Hannover 1855.

47. Marbach. Die optischen Wirkungen einiger Krystalle des tesseralen Systems. P. A. 94. p. 412—426. 1855. — Auch Habilitationsschrift, Breslau.

1858.

48. A. Des Cloizeaux. Doppelbrechung des Perowskit. A. M. 5. Ser. T. XIV. p. 417.

49. J. Grailich. Krystallographisch-optische Untersuchungen. Wien und Olmütz.

1859.

50. Jenzsch. Bemerkungen über optisch zweiaxige Turmaline. P. A. 108. p. 645—646. 1859.

1860.

51. Frankenheim. Über das Entstehen und Wachsen der Krystalle nach mikroskopischen Beobachtungen. P. A. 111. p. 31. 1860.

52. Ditscheiner. Über die Anwendung der optischen Eigenschaften in der Naturgeschichte unorganischer Naturproducte. S. W. A. 43. p. 229. 1860.

53. A. Breithaupt. Die 13 Krystallisations-Systeme des Mineralreichs und deren optisches Verhalten. Bornemann und Kerl, Berg- u. Hüttenmännische Zeitung. XIX. Jahrg. p. 93. Ref. im N. Jb. 1860. p. 341—347.

54. W. Haidinger. Über A. Breithaupt's »vorläufige Nachricht über die 13 Krystallisations-Systeme des Mineralreichs und deren optisches Verhalten«. Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt. Wien 1860. XI. Verhandlgn. p. 63—66. N. Jb. 1860. p. 347—349.

55. Jenzsch. Über die Structur der Turmalin-Krystalle mit besonderer Berücksichtigung der optischen Zweiaxigkeit. (Gelesen 1860.) Jahrb. d. Königl. Akad. gemeinnütziger Wissensch. zu Erfurt. Neue Folge II. Heft. 1861.

56. —— Über die Structur der Mellitkrystalle aus Thüringen. Ebenda.

1861.

57. A. Schrauf. Erklärung des Vorkommens optisch zweiaxiger Substanzen im rhomboëdrischen System. Ein Beitrag zur Krystallphysik. P. A. 114. p. 221—237.

58. Jenzsch. Zur Theorie des Quarzes. Erfurter Akad. (vgl. 55). 1861.

1862.

59. A. Madelung. Beobachtungen mit Breithaupt's Polarisationsmikroskop. Z. Kr. VII. p. 73—76. 1883.

60. A. Des Cloizeaux. Manuel de Minéralogie. Paris 1862.

61. Brewster. On the Pressure Cavities in Topaz, Beryl, and Diamond, and their bearing on Geological Theories. (Read 31. III. 1862.) Ed. Trans. XXIII. p. 41. 1864.

1864.

62. A. Breithaupt. Über den Quarz von Euba und über optisch zweiaxige tetragonale und hexagonale Krystalle. P. A. 121. p. 326—329. 1864.

63. Dove. Über die optischen Eigenschaften des Quarzes von Euba. P. A. 122. p. 457—461.

64. V. v. Lang. On the Crystalline Form of Herschelite. Phil. Mag. 4. Ser. XXVIII. p. 506. 1864.

1865.

65. F. Pfaff. Über eine eigenthümliche Structur der Berylle und die angeblich optisch zweiaxigen Krystalle des quadratischen und hexagonalen Systems. P. A. 124. p. 448—453. 1865.

66. A. Des Cloizeaux. Über die Anwendung des Polarisationsmikroskops und über das Studium der doppelbrechenden Eigenschaften, welche zur Bestimmung natürlicher und künstlicher Krystalle geeignet sind. P. A. 126. p. 387—424. 1865.

1866.

67. A. Des Cloizeaux. Neue Untersuchungen über die optischen Eigenschaften natürlicher und künstlicher Krystalle und die Veränderungen dieser Eigenschaften durch die Wärme. P. A. 129. p. 345—350. 1866.

68. A. Kenngott. Die Minerale der Schweiz. p. 236. (Perowskit.)

1867.

69. E. Reusch. Über die sogenannte Lamellarpolarisation des Alauns. P. A. 132. p. 618. 1867.

70. —— Über eine besondere Gattung von Durchgangen im Steinsalz und Kalkspath. Ebenda, p. 443.

71. A. Des Cloizeaux. Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux. Mémoires présentés par divers savants à l'Institut Impérial de France. T. XVIII. Paris 1867. Separat.

1868.

72. F. Zirkel. Über die mikroskopische Structur der Leucite. Z. g. G. XX. p. 150.

1869.

73. E. Reusch. Über Glimmercombinationen. P. A. 138. p. 634—635.

74. M. Websky. Über wasserhellen Granat von Jordansmühl in Schlesien. Z. g. G. XXI. p. 753.

75. G. Wyrouboff. Recherches chimiques sur les cyanoferrures. A. Chim. 4. Ser. T. XVI. p. 293—304.

1871.

76. Hessenberg. Doppelbrechung bei Perowskit. Mineralog. Notizen. Neue Folge, 7. Heft, p. 42.

77. N. v. Kokscharow. Materialien zur Mineralogie Russlands. VI. Bd. Erster Anhang zum Perowskit. p. 388—407.

1872.

78. G. vom Rath. Perowskit vom Wildkreuzjoch. P. A. 144. p. 595.

79. —— Über das Krystallsystem des Leucits. Monatsber. d. Berliner Akad. Sitzg. v. 1. Aug. 1872. P. A. Ergänz.-Bd. VI. p. 198—229. 1874 und N. Jb. 1873. p. 113—123.

1873.

80. A. Des Cloizeaux. Leucit und Analcim. Z. g. G. XXV. p. 566—568.

1874.

81. A. Des Cloizeaux. Manuel de Minéralogie. II.

1875.

82. J. Hirschwald. Zur Kritik des Leucitsystems. T. M. M. 1875. p. 227—250.

83. N. v. Kokscharow. Materialien zur Mineralogie Russlands. Bd. VII. Zweiter Anhang zum Perowskit. p. 375—380.

84. A. Des Cloizeaux. Über Perowskit. N. Jb. 1875. p. 279.

1876.

85. G. vom Rath. Bemerkungen zu der Arbeit von J. Hirschwald »zur Kritik des Leucitsystems«. N. Jb. 1876. p. 281.

86. —— Über den optischen Charakter des Leucit. Ebenda, p. 403.

87. J. Hirschwald. Erwiderung an G. vom Rath die »Kritik des Leucitsystems« betreffend. N. Jb. 1876. p. 519—525.

88. J. Hirschwald. Die optischen Charaktere der Krystalle und abnormes Verhalten einiger. N. Jb. 1876. p. 733—735.

89. E. Geinitz. Parasit? nach Boracit. N. Jb. 1876. p. 484—489.

90. A. Wichmann. Über doppelbrechende Granaten. P. A. 157. p. 282—290. Z. g. G. 27. p. 749.

91. A. v. Lasaulx. Über doppelbrechende Granaten. N. Jb. 1876. p. 630—632.

92. P. Groth u. Arzruni bei G. vom Rath: Phakolith von Richmond in Australien. P. A. 158. p. 394.

93. G. Tschermak. Über Leucit. T. M. M. 1876. p. 66.

94. A. Des Cloizeaux. Über die optischen Verhältnisse der Krystalle und ihre Unvollkommenheiten. Brief v. 27. X. 1876. N. Jb. 1877. p. 160.

I. Brewster.

Als David Brewster seine ersten Beobachtungen über optische Anomalien veröffentlichte, wusste man über die Beziehungen zwischen der Form der Krystalle und ihren optischen Eigenschaften nur soviel, dass die regulären Krystalle, ebenso wie die Substanzen, welche wir heute als amorph bezeichnen, einfachbrechend sind.

Brewster fand Ausnahmen von diesem Gesetz und dies ward für ihn Veranlassung, möglichst viele amorphe Substanzen und reguläre Krystalle daraufhin zu prüfen, ob sie diesem Gesetze gehorchen oder nicht. In den ersten zehn Jahren, 1813—1823, hat er sich ungemein intensiv mit Untersuchungen hierüber beschäftigt und ist in den späteren Jahren seines Lebens wiederholt hierauf zurückgekommen.

Als eines der glänzendsten Resultate dieser Arbeiten verdankt man ihm die Entdeckung von dem Zusammenhang zwischen der Form der Krystalle und der Zahl ihrer optischen Axen, mit der er i. J. 1819 die Wissenschaft bereicherte. Aber auch seine gegen diese und andere Entdeckungen zurücktretenden Beobachtungen über optische Anomalien amorpher und krystallisirter Substanzen sind so ausgedehnt und z. Th. so erschöpfend — es seien nur seine Untersuchungen über die gekühlten Gläser erwähnt — und trotz der einfachen Apparate der damaligen Zeit von einer solchen Genauigkeit, dass sie noch heute als mustergiltig zu bezeichnen wären.

Schon i. J. 1813 hatte Brewster die Beobachtung gemacht (2), dass Horn, Gummi arabicum, Leim, Schildkrötenschale, Wachs und andere organische Substanzen und, in unvollkommener Weise, auch einige Stücke von Glas Doppelbrechung zeigten. Hierdurch aufmerksam geworden, prüfte er bald darauf (7) ausser einer grossen Anzahl organischer Substanzen, welche er fast alle doppelbrechend fand, auch Steinsalz, Flussspath, Rubinspinell und Diamant, konnte aber nur in einigen Exemplaren des letzteren Doppelbrechung nachweisen.

Bei den fortgesetzten Untersuchungen, die er in der Absicht unternahm, die anomale Classe von Krystallen mit regulärer Form auf ihr Verhalten gegen

polarisirtes Licht zu prüfen, fand er bald ausser Diamant auch Flussspath, Steinsalz und Alaun doppelbrechend (9).

Er beschreibt die Feldertheilung von Flussspath-Würfeln und bemerkt, dass die Felder durch einen unwirksamen, in der Richtung einer Diagonale verlaufenden Streifen getrennt seien, giebt an, dass bei Spaltungsstücken von Steinsalz doppelbrechende Streifen in der Richtung einer Diagonale verlaufen und erwähnt nebenbei den Alaun als doppelbrechend. Er bedient sich schon bei diesen Untersuchungen eines empfindlichen Gypsblättchens und findet mit Hülfe desselben, dass die untersuchten Krystalle in einigen Theilen wie attractiv, in andern wie repulsiv und in dazwischen liegenden wie einfachbrechend sich verhalten. Von Diamant sagt er, dass die meisten das Licht in einzelnen Flecken von unregelmässiger Form depolarisiren und vergleicht ihr Verhalten mit dem gepresster Hausenblase oder einer zwischen zwei Glasplatten gepressten Mischung von Wachs und Harz.

Dieser Vergleich gab Anlass zu einer Auseinandersetzung mit Biot. Letzterer hatte bei Wiedergabe (10) der Beobachtungen von Brewster die Ansicht ausgesprochen, die bei Steinsalz, Flussspath etc. gefundene Doppelbrechung sei auf dieselbe Ursache zurückzuführen, wie die in gekühlten Gläsern, eingetrocknetem Gummi und dergleichen Substanzen durch Seebeck (1. 3) und Brewster bekannt gewordene Doppelbrechung und beruhe auf einem Spannungszustand, état forcé, der Masse. Brewster wendet sich gegen diese Annahme (9), indem er hervorhebt, die durch schnelle Abkühlung, Eintrocknen etc. hervorgerufenen Erscheinungen seien andere, wie die in den beschriebenen Krystallen beobachteten und beide könnten nicht auf dieselbe Ursache zurückgeführt werden; bei den ersteren hängen sie von dem Umriss der Form ab und ändern sich mit dieser, z. B. wenn sie zerbrochen würden; bei Steinsalz, Flussspath, Diamant aber sei dies nicht der Fall, die äussere Form sei von keinem Einfluss auf die optische Structur.

Zur Erklärung des abweichenden Verhaltens der regulären Krystalle meint Brewster (9, p. 161):

»If the laws which regulate the crystallisation of these minerals had been allowed an undisturbed operation, it is probable that the crystals would have had a perfect cube or an octahedron for their primitive forme, and would have exhibited none of the phenomena of double refraction.

»The slightest irregularity, however, in the operation of these laws, would produce a deviation from the perfect primitive forme, and the crystal would therefore deviate from the intermediate class into the attractive and repulsive classes, and would thus acquire the three different structures which we have actually found in to possess.

»If this view of the subject be correct, it will follow, that the cubical and octahedral forms are intermediate between those which belong to the attractive and repulsive classes of doubly refracting crystals; — that a deviation from these forms on one side will produce the structure of the attractive class, and a deviation on the other side the structure of the repulsive

class; — that the force of double refraction increases with that deviation, and that there is a certain primitive structure belonging to each mineral, by which its class may be ascertained.«

Wenn wir diese Erklärung Brewster's richtig verstehen wollen, müssen wir seine gleich zu besprechenden Anschauungen über die Entstehung der Doppelbrechung in den Krystallen mit in Rechnung ziehen. Jedenfalls aber führt er die Doppelbrechung der regulären Krystalle auf andere Ursachen zurück, wie die Doppelbrechung der gekühlten Gläser, des eingetrockneten Gummi und der gepressten Colloide.

Gleichwohl unterlässt Brewster es nicht, sich davon zu überzeugen, wie die Krystalle gegen Hitze und Druck sich verhalten, und findet, dass Steinsalz, Flussspath, Halbopal und andere Mineralien, welche keine Doppelbrechung besitzen, erhitzt ebenso doppelbrechend werden wie heisses Glas (11), einaxige Krystalle aber durch Erhitzen zweiaxig werden (15). Dass die ersteren, einem mechanischen Druck oder Zug unterworfen, ebenfalls doppelbrechend (12), die optisch einaxigen aber optisch zweiaxig werden (15); dass aber die auf die eine oder andere Weise doppelbrechend gemachten regulären Krystalle den von Natur doppelbrechenden (Flussspath, Steinsalz etc.) gleichen, sagt er nicht, sondern er vergleicht ihr Verhalten nur mit dem des Glases.

Zu den bisher bekannten doppelbrechenden regulären Krystallen fügte Brewster drei Jahre später (17) noch Blende, Boracit, Leucit und Analcim, ohne ihr optisches Verhalten ausführlicher zu beschreiben. Dagegen entwickelt er hier genauer wie früher (9) seine Ansicht über den Bau der Krystalle und die Ursache ihres anomalen Verhaltens.

»The discovery of the remains of polarising axes in a great number of crystals of this class, completely proves that, like all other crystallized bodies, they actually possess the doubly refracting and polarising structure entirely vanishes in some specimens, by the equilibrium of the forces in every point of the crystal, and reappears in some specimens when that equilibrium is not complete.«

Zum Verständniss dieser Auffassung ist es nothwendig, dass wir vorher die Ansicht Brewster's über den Ursprung der Doppelbrechung überhaupt kennen lernen, die er hier und in einer späteren Abhandlung (29) entwickelt hat und wobei er an früher gemachte Beobachtungen (7) anknüpft.

Wenn Harz und Wachs zu fast gleichen Theilen zusammengeschmolzen und das Gemisch zwischen zwei Glasplatten gepresst wird, so wird es doppelbrechend: »Setzen wir diese Platte polarisirtem Lichte aus, so finden wir, dass sie eine Axe positiver doppelter Strahlenbrechung besitzt, und die polarisirten Farben ebenso vollkommen wie mancher Krystall des Mineralreichs zeigt. Das der weichen Schicht durch den Druck mitgetheilte Gefüge gehört ihr nicht als Ganzes an, noch hat sie eine durch den Mittelpunkt gehende Axe, wie eine Kreisscheibe von unabgekühltem Glase. Vielmehr ist in jedem Punkte derselben eine Axe doppelter Strahlenbrechung senkrecht gegen die Schicht, und die doppelbrechende Kraft variirt mit der Inclination des

einfallenden Strahls gegen diese Axe, wie in allen regelmässigen einaxigen Krystallen. Nimmt man die Glasplatten von einander, so kann man eine oder mehrere Portionen von der zusammengedrückten Schicht absondern, und diese wirken auf das Licht genau ebenso, wie Blätter von einaxigem Glimmer oder Magnesiahydrat, und zeigen eine doppelbrechende Kraft von ebenso grosser Intensität.«

Dieser Versuch bildet nun die Grundlage für weitere Speculationen. Dass die regelmässige Doppelbrechung der Schicht durch den Druck erzeugt worden ist, ist zweifellos, und Brewster nimmt an, dass sie jedem Molekül der harzigen Masse mitgetheilt werde, indem jedem eine veränderliche, und gegen die Axe des Drucks symmetrisch liegende Dichte eingeprägt sei.

Bei dieser Ansicht wird er hinsichtlich des Ursprungs und allgemeinen Verhaltens der Doppelbrechung in regelmässigen Krystallen zu einer einfachen Erklärung geführt. »Dass diese Eigenschaft den Molekülen selbst nicht innewohnt, kann leicht erwiesen werden. Einzelne Theile von Quarz z. B. besitzen sie nicht. Im Tabasheer, in vielen Opalen, und im geschmolzenen Quarz ist nicht die geringste Spur eines doppelbrechenden Gefüges vorhanden; wenn aber die Quarztheilchen im Zustand der Lösung sich vermöge ihrer Polaritäten oder wechselseitigen Verwandtschaften vereinigen können, so erlangen sie im Momente ihrer Verbindung augenblicklich die Eigenschaft der Doppelbrechung und sie behalten dieselbe, so lange sie in diesem Aggregatzustand bleiben. Auf welche Weise dies geschieht, ist leicht zu begreifen. Wenn beim Verdampfen oder Erkalten irgend zwei Moleküle durch die Kräfte und Polaritäten, welche ein Krystallgefüge erzeugen, zusammengebracht sind und stark an einander haften, so werden sie sich gegenseitig zusammendrücken, und beide in der ihre Mittelpunkte verbindenden Linie eine Axe doppelter Strahlenbrechung bekommen, gleich als wenn sie durch eine äussere Kraft zusammengepresst worden wären.«

Brewster nimmt nun weiter an, dass die Moleküle drei Axen haben, die sich unter rechten Winkeln schneiden und hinsichtlich der Lage in Beziehung stehen zu der geometrischen Axe der primitiven Gestalt. »In gleicher Weise stehen die Phänomene der Doppelbrechung in Beziehung zu derselben Axe der primitiven Gestalt, und sie lassen sich alle strenge aus diesen drei rechtwinkligen Axen berechnen. In einaxigen Krystallen müssen zwei der drei Axen einander gleich und gleichnamig sein, während die dritte, der sichtbaren Axe entsprechend, gleich- oder ungleichnamig sein kann. In zweiaxigen Krystallen sind die drei Axen sämmtlich ungleich, und in Krystallen ohne doppelte Strahlenbrechung sind die drei Axen gleich und die rechtwinkligen Compressionen zerstören einander in jedem Punkte des Moleküls.«

Aus allem kommt Brewster zu dem Schluss: »dass die Kräfte der Doppelbrechung nicht in den einzelnen Molekülen vorhanden sind, sondern aus den mechanischen Kräften entspringen, durch welche diese Moleküle zu starren Körpern vereinigt werden«.

Dies ist die Ansicht, die Brewster sich über die Entstehung der Doppelbrechung in den Krystallen gebildet hat, und ganz entsprechend erklärt er nun auch die Doppelbrechung in regulären Krystallen.

In vollkommenen Krystallen dieser Classe, in denen die drei Axen gleich und zu einander rechtwinklig sind, sind die Kräfte im Gleichgewicht und keine Doppelbrechung ist vorhanden. Wenn aber die Axen nicht gleich, oder nicht genau rechtwinklig gegen einander sind, so verhalten sich die Krystalle wie solche mit einer oder mehr Axen (17, p. 256):

»In perfect crystals of this class (regulären) where all the axes are equal, and their position exactly rectangular, the equilibrium of the forces is complete; but if the axes are not equal, or their position not accurately rectangular, the phenomena of one or more axes will be developed.«

Ebenso äußert er sich später in »Optics« p. 209:

»If one of these axes is not precisely equal to the other, and the crystallisation not perfectly uniform, traces of double refraction will appear, which is found to be the case in muriate of soda, diamond, and other bodies of this class.«

Will man die Ansicht Brewster's über die Entstehung der Doppelbrechung in regulären Krystallen durch ein Wort ausdrücken, so kann man sagen, er führte sie auf Wachsthumsstörungen zurück.

Anders dagegen ist seine Ansicht über den Apophyllit. Schon i. J. 1817 (27. G. A. p. 160) hatte er eine Verschiedenheit in der optischen Structur des Apophyllit von den Farör und von Utö bemerkt, welche ihm so auffallend erschien, dass er beide als wesentlich verschieden glaubte betrachten zu müssen. Nach seinen ausführlicheren Mittheilungen über den Apophyllit (18. 23) ist der von Utö und aus dem Fassathal optisch einaxig positiv, der von den Farör dagegen nur in der Mitte und in vier von der Mitte nach dem Rand gehenden schmalen Streifen optisch einaxig, in vier randlichen Feldern aber optisch zweiaxig. Wegen dieses Verhaltens giebt er dem Apophyllit von den Farör den Namen Tesselit und kommt zu dem Schluss (18, p. 5):

»The interior conformation of Apophyllite presents us with the new fact in crystallography, that a regular crystalline form arises in some cases from the union of smaller crystals, whose homologous sides are not parallel to each other«, und führt als Beispiel für solche Fälle Aragonit, schwefelsaures Kali und Harmotom an, deren optisches Verhalten er in Abbildungen wiedergiebt, unter denen namentlich zwei von Aragonitzwillingen wegen ihrer Naturtreue besonders bemerkenswerth sind. Jedes Individuum, welches in diese Krystallgebilde eintritt, behält seinen Charakter und besitzt, für sich betrachtet, die gewöhnlichen Eigenschaften der Doppelbrechung (28, p. 192).

Entsprechend dieser Auffassung führt Brewster in seiner Abhandlung über den Zusammenhang zwischen den Kern- und Grundgestalten der Krystalle und der Anzahl ihrer Axen doppelter Strahlenbrechung (20. 21) den Apophyllit von den Farör nicht, wie den von den andern Fundorten, unter dem pyramidalen System auf, sondern unter dem prismatischen, optisch zweiaxigen,

und später in den »Optics« bespricht er den Apophyllit zusammen mit dem schwefelsauren Kali unter den »composite or tesselated crystals«.

Auch den Chabasit führt Brewster in der erwähnten Abhandlung (20. 21) unter den prismatischen Krystallen auf, giebt über sein Verhalten aber erst später (29. P. A. p. 536) genauere Mittheilung:

»In gewissen Exemplaren dieses Minerals bilden die Moleküle in der Mitte einen regelmässigen Krystall, welcher die Erscheinungen einer regelmässigen Doppelbrechung zeigt; allein rund um den Kern in der Mitte bilden die Moleküle nicht nur einen hemitropen Krystall, sondern auch die doppeltbrechende Kraft nimmt von Schicht zu Schicht ab, bis sie ganz verschwindet. Jenseits dieser Grenze erscheint sie wieder, aber mit einem entgegengesetzten Charakter, und nimmt allmählich zu bis zur Grenzfläche des Krystalls. Hier sind also die Intensitäten der Axen und Pole, von welchen die Aggregationskräfte ausfliessen, allmählich verändert worden, vermuthlich durch den Zutritt einer geringen Menge eines Stoffes, den die chemische Analyse nicht zu entdecken im Stande ist. Nehmen wir hier an, es seien drei Axen da, und die fremden Theilchen haben die Aggregationskraft der grösseren Axe geschwächt, dann wird die doppeltbrechende Kraft allmählich mit der Intensität dieser Axe abnehmen und endlich verschwinden, wenn diese drei Axen gleich geworden sind. Bei fortwährend verminderter Kraft der dritten Axe wird die doppeltbrechende Kraft mit entgegengesetztem Charakter wieder erscheinen, genau wie es bei der erwähnten Chabasie der Fall ist.«

Den fremden Stoff glaubte Johnston (32) in der Kieselerde gefunden zu haben, deren Menge in Chabasiten von verschiedenen Fundorten eine wechselnde ist; er nahm an, die Krystallform des Chabasit sei dieselbe wie die primitive des Quarzes, beide Substanzen seien isomorph gemischt und das unregelmässige optische Verhalten eine Folge hiervon. Jedoch konnte bald darauf Rammelsberg[1]) nachweisen, dass diese Annahme nicht berechtigt ist, da keine Kieselsäure in der Modification des Quarzes im Chabasit nachzuweisen sei.

Unter den optisch zweiaxigen Mineralien war Brewster das eigenthümliche Verhalten des Topases nicht entgangen (26. 27). Er hatte nicht nur gefunden, dass der Winkel der optischen Axen bei den Topasen verschiedener Fundorte verschieden ist, sondern sogar an dem gelben brasilianer Topas beobachtet, dass die eine optische Axe unter einem Winkel von 22° 37′, die andere aber unter 27° 28′ gegen die Axe des Prisma geneigt ist, die erste Mittellinie folglich schief zur Oberfläche der Spaltblättchen steht. Brewster vermuthete, dass die Verschiedenheit der optischen Eigenschaften der Topase mit einem verschiedenen Gehalt derselben an Flusssäure zusammenhänge.

Eine ganz besondere Stellung nimmt nach Brewster unter den Mineralien der Analcim (28) ein durch die eigenthümliche Vertheilung und ungleichmässige Stärke der Doppelbrechung.

[1]) Über den Chabasit und Gmelinit. P. A. 39. p. 211. 1840.

In allen andern doppelbrechenden Krystallen ist die optische Axe nicht an den Ort gebunden, sondern nur an die Richtung, und jedes noch so kleine Stückchen zeigt dasselbe optische Verhalten wie der ganze Krystall. Im Analcim dagegen giebt es Ebenen ohne Doppelbrechung, welche eine unveränderliche, den Reductionsebenen des Granatoëders entsprechende Lage haben und welche den ganzen Krystall in 24 Theile zerlegen. In jedem dieser Theilchen ändert sich die Intensität der Doppelbrechung von Ort zu Ort, und ist am stärksten in der Mitte der octaëdrischen Kanten des Ikositetraëders.

Die Doppelbrechung des Analcim, so führt Brewster weiter aus, ist auch nicht mit der zusammengesetzter Krystalle, wie des schwefelsauren Kali und des Apophyllit zu vergleichen, denn auch bei diesen besitzt jedes einzelne Individuum die gewöhnlichen Eigenschaften der Doppelbrechung, im Analcim nicht.

Dagegen zeigen die im Analcim zu beobachtenden Erscheinungen eine gewisse Ähnlichkeit mit denen gekühlter Glasplatten, insofern als in beiden einfachbrechende Zonen vorkommen. Weiter aber geht die Ähnlichkeit nicht, da im Glase die Erscheinungen von der äussern Form abhängen und mit dieser sich ändern, im Analcim aber immer dieselben sind.

Noch grössere Ähnlichkeit hat das optische Verhalten des Analcim mit dem getrockneter Hausenblase, da bei dieser nach der Erhärtung die doppelbrechende Structur fixirt ist und auch bei dem Zerbrechen sich nicht ändert. Würde man aus letzterer Substanz ähnliche Theile, wie die sind, aus denen Brewster sich den Analcim zusammengesetzt denkt, schneiden, und so, wie in jenem Mineral gelagert, zusammenstellen, so würde man die Erscheinungen desselben nachahmen können.

Also auch hier spricht Brewster nur von einer Nachahmung, über die eigentliche Ursache des auffallenden Verhaltens spricht er keine Vermuthung aus.

Direct auf Compression führt Brewster nur die Störungen zurück, welche Bernstein (G. A. 65. p. 20. 1820) und manche Krystalle, namentlich Diamant (22. 31) in der Umgebung von Luftbläschen und anderen Einschlüssen zeigen. Im Diamant hatte Brewster um die Luftbläschen herum vier helle Sectoren, durchschnitten von einem schwarzen Kreuze, beobachtet und mit dem Gypsblättchen den Charakter als negativ festgestellt. Hieraus schloss er, dass die Doppelbrechung durch eine von den Höhlungen aus wirkende Compressionskraft erzeugt sei, und der Diamant selbst früher weich gewesen sei wie halb eingetrocknetes Gummi.

Die in den vorstehenden Zeilen entwickelten Anschauungen Brewster's können wir mit wenigen Worten also zusammenfassen:

Die Doppelbrechung der Krystalle mit regulärer Form ist entstanden durch unbekannte Vorgänge während des Wachsens, welche verhinderten, dass die zu einander normal gerichteten gleichen Kräfte gleichmässig zur Wirkung kamen; Boracit wird als optisch einaxig nicht hierzu gerechnet. Der Apophyllit von Utö und der Chabasit bestehen aus zweiaxigen Theilen und werden zu den prismatischen Krystallen gezählt und als Zwillinge zweiaxiger

Individuen betrachtet. Analcim verhält sich wie eingetrocknete Hausenblase, und die Doppelbrechung um die Einschlüsse im Diamant ist Folge der Compression.

Durch diese Beobachtungen war Brewster so sehr seiner Zeit vorausgeeilt, dass er erst fast 70 Jahre nach dem Erscheinen seiner ersten Arbeiten die gebührende Würdigung von Seiten der Mineralogen fand, und es ist das Verdienst namentlich von Carl Klein, die Arbeiten dieses ausgezeichneten Mannes wieder aus der Vergessenheit hervorgeholt und ihnen den Platz angewiesen zu haben, der ihnen nach Zeit und Inhalt zukommt.

Die Resultate der Untersuchungen Brewster's über die optisch anomalen Krystalle wurden wohl allmählich in die besseren Hand- und Lehrbücher der Physik aufgenommen, aber neue Beobachtungen weder von den Verfassern dieser Bücher noch kaum von Andern mitgetheilt.

Am ausführlichsten sind die Arbeiten Brewster's in der Optik von Herschel[1]) besprochen und mit einigen Zusätzen und Bemerkungen versehen worden. So rühmt Herschel u. a., dass es möglich sei, durch Prüfung der Krystalle im polarisirten Licht viele Fälle von Hemitropismus nachzuweisen (p. 670), und bezeichnet hierunter »diejenigen als die interessantesten, bei denen sich die aneinander gelegten Theile zu einem regelmässigen Ganzen verbinden und so eine Art von Pseudokrystall bilden, der gleichsam von verschiedenen Individuen aufgebaut, in gewisser Rücksicht symmetrisch geordnet, und von mehr oder minder verwickelter Structur ist. Beispiele dieser Art finden sich sehr häufig im Salpeter, Aragonit, Apophyllit, schwefelsauren Kali, Analcim, Harmotom u. s. w.«

Indem Herschel das optische Verhalten dieser Krystalle, immer den Angaben Brewster's folgend, beschreibt, sagt er z. B. von Analcim, seine Structur sei so sonderbar, dass es schwer sei zu entscheiden, ob man diesen Körper als einen gruppirten Krystall, der aus unabhängigen an einander liegenden Theilen besteht, oder als eine Masse ansehen soll, in welcher der Aether nach einem allgemeinen und gleichförmigen Gesetz vertheilt ist; das letztere sei jedoch wahrscheinlicher. Eine Analogie mit den Eigenschaften des schnell gekühlten Glases oder ähnlicher Substanzen finde nicht statt.

Obwohl durch diese Besprechungen die Arbeiten Brewster's bekannt geworden sind, blieben sie im Ganzen unbeachtet, die Zeit war noch nicht gekommen. Mitarbeiter hat Brewster nicht gefunden.

Die einzige dem Verfasser aus dieser Zeit bekannt gewordene Arbeit, welche hier genannt werden könnte, ist die von Babinet über die optischen Kennzeichen der Minerale (34). Die Bemerkungen über optische Anomalien sind jedoch sehr dürftig und beschränken sich auf die Angaben, dass eine Platte von Beryll statt des schwarzen Kreuzes eine der Ziffer 8 ähnliche schwarze Linie zeige, dass bei Beryll und Zirkon die Mitte der Zweige nicht schwarz sei, und dass auch der Boracit Doppelbrechung zeige, und es wird

[1]) F. W. Herschel, Vom Licht; übersetzt von E. Schmidt 1831.

vermuthet, dass der Verlust von Krystallwasser die Doppelbrechung und Zweiaxigkeit bedinge. Die Arbeiten Brewster's scheint Babinet (i. J. 1837) noch nicht gekannt zu haben.

Erst Biot hat die Untersuchungen Brewster's wieder aufgenommen und durch seine neuen Ideen die Aufmerksamkeit grösserer Kreise auf die »anomalen« Krystalle gelenkt.

II. Biot und seine Nachfolger.

Am 31. Mai 1841 und den folgenden Sitzungstagen der Académie des sciences (35) las Biot sein »Mémoire sur la polarisation lamellaire« und entwickelte seine Anschauungen etwa wie folgt:

Die Wirkungen, welche die Krystalle auf das Licht ausüben, beruhen entweder auf ihnen eigenthümlichen oder auf nur zufälligen Eigenschaften. Im ersteren Falle hängen sie von dem molekularen Bau der Krystalle ab und sind charakterisirt durch die Constanz der Gesetze, welche im kleinsten Splitter dieselben sind, wie im regelmässig begrenzten Krystall. Im andern Falle sind die Eigenschaften nicht dem Krystall als solchem inhärent, sondern sind durch irgend einen Umstand in denselben hineingepflanzt worden, und in diesem im allgemeinen an den Ort gebunden, so dass sie verschwinden oder verändert werden können, wenn etwa der Krystall gelöst wird und aus der Lösung aufs neue sich bildet.

Solche zufällige Eigenschaften können nach Biot, dem wir hier immer folgen, durch Druck und Zug in der Krystallmasse hervorgerufen werden, und möglicherweise sind manche Anomalien hierdurch entstanden; sie sind immer leicht daran zu erkennen, dass nach dem Zerbrechen die Wirkungen auf das polarisirte Licht andere werden wie vorher, was besonders am gekühlten Glase deutlich zu sehen ist.

Bei den meisten Krystallen aber ist die Anomalie nicht durch Annahme von Druck oder Spannungswirkungen zu erklären, da sie zerbrochen und wieder zusammengesetzt in derselben Weise auf das Licht wirken, wie im unverletzten Zustand. In allen diesen Fällen wird die ungewöhnliche Wirkung auf das polarisirte Licht durch Lamellarpolarisation erklärt.

Zum besondern Gegenstand seiner Studien hat Biot den Alaun gewählt und seine Untersuchungen weiterhin auf Steinsalz, Flussspath und Apophyllit und in geringerem Grade auf Salmiak, Boracit, Leucit und Analcim ausgedehnt.

Als Beobachtungsinstrument benutzte er einen Polarisationsapparat mit schiefer Sehaxe, als Polarisator diente ein horizontal liegender Glasplattensatz, als Analysator ein Nicol'sches Prisma; zwischen beide konnte ein empfindliches Gypsblättchen eingeschoben werden; der Krystall wurde in einem kleinen Röhrchen, oft zur Verhinderung der Totalreflexion mit Flüssigkeit umgeben,

in den Apparat eingeschoben und konnte mit diesem um die Sehaxe gedreht werden.

Mit Hülfe dieses Apparates beobachtete Biot an doppelbrechenden Alaunkrystallen im wesentlichen das Folgende:

Werden von einem Octaëder zwei gegenüberliegende Ecken durch Feilen und Schleifen entfernt, und wird die Platte dann so in den Apparat eingeführt, dass die angefeilten Würfelflächen senkrecht zur Sehaxe liegen, so bleibt sie dunkel, wenn die Kanten des angeschliffenen Quadrates mit den Schwingungsrichtungen der Polarisationsapparate zusammenfallen, in allen andern Lagen hellt die Platte das Gesichtsfeld auf. In der Richtung der Diagonalen ist ein schwarzes Kreuz zu bemerken, durch welches die Fläche in vier Felder getheilt wird; in jedem Feld ist die kleinste optische Elasticitätsaxe der Randkante parallel. Die Platten für sich hellen meist mit dem Hellgrau der I. Ordnung auf, bisweilen auch in lebhafteren Farben; die entstehende Interferenzfarbe ist von der Dicke wenig abhängig, die Erscheinungen sind aber immer um so schöner, je reiner, durchsichtiger und homogener die Krystalle sind.

Dagegen soll eine Platte parallel einer Octaëderfläche aus dem Krystall herauspräparirt, bei senkrechter Incidenz des Lichtes in ihrer Mitte keine Wirkung auf das polarisirte Licht ausüben; sie wird daher als einfachbrechend betrachtet. Die andere Möglichkeit, dass die Platte senkrecht zur optischen Axe sei, wird weder von Biot noch von andern Forschern nach ihm ausgesprochen, und doch ist dieses, wie wir später sehen werden, der Fall.

Auf seine Beobachtungen gestützt nimmt Biot an, dass die Krystalle des Alaun, den wir mit ihm als Beispiel festhalten wollen, aus lauter einzelnen, parallel den Octaëderflächen gelagerten, einfachbrechenden Lamellen aufgebaut seien und in Folge der lamellaren Structur in ähnlicher Weise auf das polarisirte, schief auf die Flächen fallende Licht wirken, wie ein Glasplattensatz, bei dem die Luftschichten zwischen den Platten sehr dünn sind.

Dies ist der wesentliche Inhalt der Lehre Biot's von der Lamellarpolarisation, die jetzt mit Recht verlassen ist. Auf das Verhalten des Alaun gründete Biot seine ganze Hypothese. Von Alaun aber wissen wir jetzt, dass die Einwirkung, welche er oft auf das polarisirte Licht ausübt, nicht auf lamellarer Structur beruht, sondern dass die Doppelbrechung durch isomorphe Beimischung hervorgerufen wird; die reinen Krystalle sind einfachbrechend.

Es ist nun sehr interessant, dass man aus den Angaben Biot's den Nachweis führen kann, dass die Krystalle, welche er zu seinen Untersuchungen benutzt hat, keine reinen Alaune waren, sondern Mischkrystalle von Kalialaun und Ammoniakalaun:

»Cette disposition lamellaire se manifeste avec évidence dans les cristaux d'alun qui contiennent de l'ammoniaque« heisst es p. 635, und auf der folgenden Seite, bei Besprechung der nur kurzen Bemerkung Brewster's über den Alaun, meint Biot, die von Brewster untersuchten Alaune müssten sich wohl von den aus den französischen Fabriken stammenden, où l'ammoniaque

entre comme élément, unterscheiden, sonst hätte er ihre starke Wirkung auf das polarisirte Licht nicht so kurz nur erwähnt.

Dass die von Biot benutzten Alaune aber keine reinen Ammoniakalaune waren, geht aus andern Stellen ebenso unzweifelhaft hervor; denn wenn von chemisch reinem Ammoniakalaun die Rede ist, wird er als »l'alun complètement ammoniacale des chimistes« bezeichnet (p. 622) und angegeben, dass er $^{38}/_{1000}$ seines Gewichtes Ammoniak enthalte, während die von Biot benutzten nach einer Analyse von H. Deville »de six ou sept millièmes« Ammoniak enthielten. Alle diese Ammoniak enthaltenden Alaune wirkten kräftig auf das Licht ein und änderten die Farbe des eingeschalteten Gypsblättchens. Einige Krystalle dagegen zeigten keine oder kaum bemerkbare Einwirkung und »il s'est trouvé qu'ils ne dégageaient aucune trace sensible d'ammoniaque, tandis que tous les cristaux actifs manifestaient notablement la présence de cet alcali« (p. 560).

Dieser auffallende Umstand hat Biot weiter beschäftigt, und um seinen ersten Befund zu controliren, liess er von Pelouze reinen Kalialaun darstellen und untersuchte ihn mit allen erdenklichen Vorsichtsmassregeln, aber »malgré tous ces artifices qui, dans les cristaux contenant de l'ammoniaque auraient infailliblement développé des couleurs très-vives sans aucun intermédiaire, je n'ai pu rien voir dans ceux-ci, même en les combinant avec les lames de chaux sulfatée les plus sensibles« (p. 622).

Obgleich also diese Krystalle von reinem Kalialaun vollkommen unwirksam waren, zeigten sie doch sehr deutlich lamellaren Bau, und Biot kann dies nicht anders erklären, als dass »s'ils offrent des couches bien décidées, les lames qui les composent ont leurs faces limites tournées en des sens divers, de manière que leurs systèmes lamellaires, s'ils sont actifs, pourraient se compenser mutuellement« (p. 625), eine mir unverständliche Annahme, offenbar nur gemacht zur Stütze der ganzen, sonst haltlosen Hypothese.

Es ist hiernach keinem Zweifel unterworfen, dass die Krystalle, welche Biot untersucht hat, Mischkrystalle von Ammoniak- und Kalialaun waren. Nur die Mischkrystalle übten eine Wirkung auf das polarisirte Licht aus, die reinen Krystalle nicht. Nach ihrem optischen Charakter, der oben angegebenen Lage der Elasticitätsaxen, würden seine Alaune als negativ zu bezeichnen sein. Wie wir später sehen werden, sind die Mischkrystalle von Ammoniak- und Kalialaun in der That negativ.

Seit dem Erscheinen der Biot'schen Abhandlung wird das ungewöhnliche Verhalten vieler Krystalle gegen das polarisirte Licht häufig durch Lamellarpolarisation erklärt.

Schon i. J. 1846 theilt Mitscherlich Biot mit (38), dass er am chlorsauren Natron Lamellarpolarisation entdeckt habe, und hocherfreut kann Biot diese Beobachtung des berühmten deutschen Forschers bestätigen.

Wertheim (41. 42) sieht eine Stütze der Biot'schen Hypothese darin, dass sogar Krystalle, welche Lamellarpolarisation nicht zu besitzen scheinen, wie Steinsalz, sie in permanenter Weise in Folge der Zusammendrückung

erhalten. Er meint, der mechanische Druck suche die Lamellen, aus welchen der Krystall bestehe, von einander zu entfernen, und Zwischenräume zu schaffen, welche, obgleich dem Auge unsichtbar, sich doch durch die Wirkung auf das polarisirte Licht verrathen.

Auch Volger stimmt mit Biot in der Annahme der Lamellarpolarisation wenigstens für den Alaun überein, dagegen glaubt er, das eigenthümliche Verhalten des Boracit in anderer Weise erklären zu müssen (45. 46). Er ist der Ansicht, dass die Krystalle nicht mehr aus der ursprünglichen Boracitsubstanz, sondern aus einem neuen, durch chemische Umwandlung aus dem Boracit entstandenen Minerale bestehen, welches er Parasit nennt; derselbe soll weniger Borsäure wie der Boracit und etwas Wasser enthalten, und in dünnen Fasern ausgebildet sein, welche von den Granatoëderflächen aus senkrecht gegen das Innere des Krystallkörpers anschiessen. Diese Annahme hat sich bis in das Jahr 1876 erhalten; wir können sie auch jetzt noch als zutreffend bezeichnen, wenn wir hinzufügen, dass die neue Substanz sich nicht durch die quantitative Zusammensetzung, sondern nur durch ihre Structur von der ersteren unterscheidet.

Frankenheim (51) stimmt mit Biot insofern überein, als er Lamellarpolarisation als Ursache des anomalen optischen Verhaltens vieler Krystalle annimmt, er weicht aber darin von Biot ab, dass er die Lamellen nicht durch eine Luftschicht getrennt sein lässt, sondern ihnen selbst verschiedene Brechbarkeit zuschreibt.

Indem er seine Ansicht vertheidigt, dass die Verbindungen von isomorphen Körpern niemals homogen sind, sondern immer den Charakter eines Gemenges tragen, und die aus isomorphen Körpern zusammengesetzten Krystalle ganz wie diejenigen sich verhalten, deren Bestandtheile nicht isomorph sind, führt er als erstes Beispiel den Alaun an.

»Dieses ist sogar der Fall bei den Krystallen des regulären Systems, die sich, was die Form betrifft, vollkommen ersetzen können. Der Ammoniakalaun unterscheidet sich vom Kalialaun nur durch die Vertretung eines Mischungsgewichtes unter 71. Dennoch reicht schon eine kleine Beimengung von Ammoniakalaun zum Kalialaun hin, um optische Eigenschaften hervorzubringen, welche dem reinen Ammoniakalaun fehlen, nämlich die von Biot untersuchte lamelläre Polarisation.

»Diese Polarisation beruht, wie die der Säulen aus Glasplatten, auf dem Wechsel der Brechung, welche der Lichtstrahl auf seinem Wege erfährt. Er findet nämlich Schichten von verschiedener Brechung vor und wird bei jedem Übergange von einer Schicht in die andere, wenn diese unter schiefen Winkeln stattfindet, theilweise polarisirt, und dieses um so vollständiger, je zahlreicher die Schichten und je grösser der Unterschied in ihrem Brechungsvermögen ist. Bei jenen Säulen ist es der Unterschied von Glas und Luft; bei dem Alaun wird keine Spalte wahrgenommen, die leer oder mit Luft gefüllt sein könnte. Dagegen bemerkt man oft eine auf Schichtung deutende Streifung und diese Schichtung kann nur in dem Wechsel von Kalialaun und Ammoniakalaun

bestehen. Sie findet sich auf allen Krystallflächen, bis zu einer gewissen Entfernung von der Oberfläche, parallel ebenso gut einer Würfel- oder Rhombendodekaëder-Fläche, wenn diese vorhanden sind, als den Octaëderflächen. Die beiden isomorphen Körper haben sich also offenbar nicht als Ganzes abgelagert, sondern schichtenweise, erst der eine, dann, wenn dieser in der dem Krystall anliegenden Lösung erschöpft war, der andere Körper. Die Dicke der Schichten ist zuweilen dem blossen Auge kenntlich, aber auch da, wo sie sich dem Mikroskop entziehen sollte, braucht sie noch lange nicht molekular zu sein.

»Lamelläre Polarisation findet sich auch am Steinsalz, Flussspath und vielen andern Krystallen des tesseralen Systems, aber die Beobachtungen lassen es unentschieden, was davon den eingelagerten Schichten isomorpher Körper und was Höhlungen oder Sprüngen oder auch einer ungleichförmigen Spannung im Innern angehört. Bei Krystallen anderer Systeme wird diese Art von Polarisation durch die von der Krystallform selbst abhängige gewöhnlich verdeckt.«

Durch diese Frankenheim'sche Annahme würde man wohl eine schwache Einwirkung der regulären Krystalle auf das polarisirte Licht erklären können, wenn das Brechungsvermögen der isomorph gemischten Substanzen ein sehr verschiedenes wäre, was aber bei Alaun nicht der Fall ist; und Erscheinungen, wie wir sie an den Mischkrystallen werden kennen lernen, namentlich die im convergenten Licht auftretenden, würden auch durch diese Annahme nicht zu erklären sein.

Die Biot'sche Hypothese der Lamellarpolarisation wird bis in das Jahr 1876 zur Erklärung optischer Anomalien herangezogen, jedoch werden schon wenige Jahre nach dem Erscheinen jener Abhandlung Stimmen laut, welche sich entschieden gegen die Annahme der Lamellarpolarisation erklären und die Ursache der Anomalien in etwas anderem suchen. Einige Forscher geben den »anomalen« Krystallen die niedere Symmetrie, die sie durch ihr optisches Verhalten verrathen, während andere in inneren Spannungen die Ursache der Anomalien erblicken.

III. Vorläufer von Mallard.

In dem Répertoire d'optique moderne (39) bespricht Moigno die Untersuchungen von Biot und drückt am Schluss der Besprechung seine Überzeugung aus, dass er an die Lamellarpolarisation nicht glaube:

»Faut-il réellement conclure de cette longue étude de M. Biot que la superposition des lamelles ou, comme l'appelle M. Biot, le tissu lamelleux exerce une action propre, »sui generis«, une genre nouveau de polarisation spéciale? Nous disons franchement que nous ne le pensons pas. C'est pour nous une conviction profonde que la raison dernière de ces anomalies doit se rapporter à des phénomènes d'imbibition, de trempe etc., à des croisements

de structures cristallographiques différentes, tronquées, incomplètes, etc. etc., à des assemblages en mosaïque de cristaux placés dans des positions variées et arrangées dans un ordre très complexe, quoique très symmétrique, etc.«

Die von Moigno in den letzten Worten nur kurz angedeutete Annahme wird von Scheerer (44) wieder aufgegriffen und zur Erklärung der optischen Anomalien vieler Krystalle herangezogen. Scheerer hat, wie es scheint, keine eigenen Untersuchungen angestellt, sondern aus der vorhandenen Literatur geschöpft und ihr die Beispiele für seine »Paramorphosen« entnommen.

Unter einer Paramorphose versteht Scheerer »das Zugleichauftreten der beiden Formen eines dimorphen Körpers bei einem und demselben Krystall: die eine dieser Formen durch die Contouren — also an dem Krystall — die andere durch die morphologische Beschaffenheit der Masse — also in dem Krystall — sich aussprechend.«

Jeder paramorphe Krystall hatte ursprünglich die homogene Krystallinität eines normalen Krystallindividuums, stellt aber in seinem gegenwärtigen Zustand ein feinkörniges, krystallinisches Aggregat dar, in dem die Individuen entweder unter sich parallel sind, oder regellos durcheinander liegen; im ersteren Falle werden die Paramorphosen homoaxe, im anderen Falle heteroaxe genannt.

Bei den hierher gerechneten Substanzen: Schwefel, Quecksilberjodid, Aragonit, Salpeter etc. ist der paramorphe Zustand von dem ursprünglichen durch die körnige Structur der paramorphen Krystalle leicht zu unterscheiden. Der aus dem Schmelzfluss monoklin erstarrte und in den rhombischen übergegangene Schwefel, der durch Erhitzen in Kalkspath umgewandelte Aragonit sind bekannte Beispiele.

In vielen Fällen sind die Paramorphosen nur durch optische Prüfung zu entdecken, nämlich dann, wenn die Krystalle homogen zu sein scheinen, ihr optisches Verhalten aber mit der Form nicht übereinstimmt. »Als solche Krystalle von einem eigenthümlichen — dem Krystallsysteme, zu welchem sie ihrer äusseren Form nach gehören, nicht zukommenden — inneren Bau sind besonders zu erwähnen die von Alaun (dem ammoniakhaltigen), Analcim, Apophyllit, Beryll, Boracit, Flussspath, Steinsalz, Topas. Wir können hinzufügen, dass auch an Krystallen des Leucit vom Vesuv solche abnorme optische Eigenschaften wahrgenommen wurden.«

»Der Schluss, welcher sich aus dem optischen Verhalten dieser Mineralien auf die innere Structur derselben ziehen lässt, kann nicht besser gefasst werden als mit den Worten Moigno's: »Plusieurs minéraux doivent être considérés comme composés d'un assemblage en mosaïque très curieux de cristaux placés dans des positions différentes et arrangés dans un ordre très complexe, quoique très symmétrique.«

»Die optischen Eigenschaften dieser Mineralien«, fährt Scheerer fort, »beweisen es, dass die integrirenden Krystall-Individuen einem andern Krystallsysteme angehören als die äussere Form des Gesammtkrystalls. Wir haben hier also eine Klasse paramorpher Gebilde, welche mit keiner

unserer beiden früher aufgestellten übereinstimmt. Die Krystalle des ammoniakhaltigen Alaun, des Analcim, Apophyllit u. s. w. sind weder homoaxe noch heteroaxe Paramorphosen: die integrirenden Individuen ihres Gesammtkrystalls sind nach mehreren Axen symmetrisch geordnet. Am einfachsten und kürzesten erscheint für sie daher die Bezeichnung polyaxe Paramorphosen.«

Es giebt Fälle, in denen die innere Structur einer polyaxen Paramorphose auch ohne optische Prüfung erkannt werden kann, z. B. am Boracit. Zerschlägt man einen Krystall, so gewahrt man, dass derselbe aus mehreren Systemen paralleler faseriger Individuen zusammengesetzt ist — dem Parasit Volger's, von dem aber Scheerer wohl noch nichts wusste, da seine Abhandlung in demselben Jahre erschien wie die erste von Volger.

Es ist nicht zu verkennen, dass diese Moigno-Scheerer'sche Ansicht manche Ähnlichkeit hat mit der später von Mallard ausführlich entwickelten Hypothese; hier wie da wird auf das optische Verhalten das Hauptgewicht gelegt, nicht auf die äussere Form des Krystalls. Entspricht diese z. B. den Anforderungen des regulären Systems, ist aber der Krystall doppelbrechend, so stimmen beide darin überein, dass sie die integrirenden Krystall-Individuen einem andern System als dem regulären angehörend betrachten. Die von Scheerer vorgeschlagene Bezeichnung »Paramorphosen« würde man auch heute noch auf einige der hierher gehörigen Krystalle, z. B. Boracit, anwenden können; im übrigen ist von einer Durchbildung dieser Hypothese bei Scheerer noch keine Rede.

Weniger glücklich ist die Erklärung ausgefallen, die Breithaupt und Schrauf für das Vorkommen optisch anomaler Krystalle gegeben haben.

Breithaupt (53. 62) geht von dem Grundsatz aus, dass optische Zweiaxigkeit bei tetragonalen und hexagonalen Krystallen nicht vorkommen kann, wenn die Lage der pyramidalen und rhomboëdrischen Flächen eine absolut symmetrische ist. Durch genaue Winkelmessungen will Breithaupt nun gefunden haben, dass gewisse Unregelmässigkeiten in der gegenseitigen Lage der pyramidalen und rhomboëdrischen Flächen vorkommen, und wo dieses der Fall ist, glaubt er auch optische Zweiaxigkeit erwarten zu dürfen, ein Schluss, welchen er durch Beobachtung an Phosgenit, Scheelit, Wulfenit, Zirkon, Mellit, Mejonit, Dioptas, Chalkophyllit, Kalkspath, Zinkspath, Apatit, Nephelin, Quarz, Beryll, Phenakit, Zinkit, Greenockit und dem stark zweiaxig befundenen Mimetesit bestätigt findet und daher für richtig hält. In weiterer Verfolgung seiner Ideen kommt er zu der Aufstellung seiner 13 Krystallsysteme, worauf näher einzugehen für uns keinen Zweck hat.

Offenbar von Breithaupt veranlasst, untersuchte Madelung (59) eine grosse Zahl quadratischer und hexagonaler Krystalle und fand fast alle optisch zweiaxig. Seine Beobachtungen, welche sich auf fast 100 Krystalle erstrecken, sind die umfangreichsten dieser Zeit, wurden aber erst 20 Jahre später von Schrauf veröffentlicht. Ausser den schon von Breithaupt genannten werden zum ersten Mal als anomal zweiaxig aufgeführt: Spartaït, Breunnerit, Mesitin, Rosenspath, Himbeerspath, Eisenspath, Pyromorphit, Turmalin, Arsen-

silberblende, Anatas, Skapolith, Idokras, Zinnerz, Kupfer- und Kalkuranit, Rutil, ferner verschiedene Glimmer etc.

Ganz derselben Ansicht wie Breithaupt ist Jenzsch (50. 55. 56. 58) und auch Schrauf (57) ist im allgemeinen ein Anhänger derselben, hält es jedoch für nöthig, dieselbe noch etwas zu modificiren.

Wenn reguläre Krystalle auf das polarisirte Licht wirken, so erklärt dies Schrauf mit Biot durch Lamellarpolarisation, vorausgesetzt, dass die geometrische Symmetrie vollkommen regulär ist; wenn aber Winkeldifferenzen gefunden werden, so folge hieraus, dass die drei sonst gleich langen Axen des tesseralen Systems ungleich lang, daher die Substanz wirklich pyramidal und einaxig sein müsse. Ist aber bei einer pyramidalen Substanz eine Zweiaxigkeit erwiesen, so kann sie nur dadurch erklärt werden, dass eben die genaueren Winkelmessungen dieses Stoffes Differenzen geben werden, welche nöthigen anzunehmen, die pyramidalen Axen seien nicht gleich lang, daher die Substanz dem prismatischen System angehörig.

Durch diese Annahme werden die Grenzen zwischen den Systemen verwischt und eine Substanz kann allmählich aus dem tesseralen in das pyramidale und aus diesem in das prismatische System übergehen, und es ist nöthig, mit Breithaupt sechs neue Krystallsysteme aufzustellen. Schwierigkeiten macht diese Erklärung nur im hexagonalen System, wenn drei unter 60° sich schneidende Nebenaxen angenommen werden; sie fallen aber weg, wenn statt derer zwei unter 90° sich schneidende Nebenaxen eingeführt werden. Alsdann sollen die hexagonalen Krystalle sich ebenso verhalten wie die pyramidalen, und durch Änderung der Axenlängen in prismatische übergehen können.

Hiermit hält Schrauf den Satz für bewiesen, dass: »die Gruppen der geometrischen und optischen Eigenschaften sich decken und der Gruppe der isophanen und symmetrisch anisophanen Körper auch die einfache geometrische Ableitbarkeit von drei senkrechten Axen entspricht«.

Der Einwurf, welcher schon von Haidinger (54) gegen Breithaupt's Hypothese erhoben wurde, gilt auch für Schrauf. Beide haben nicht genügend beobachtet und haben namentlich eine schon von Brewster und Biot hervorgehobene Eigenschaft gar nicht berücksichtigt, dass nämlich die anomalen Krystalle nicht einheitlich gebaut sind, sondern aus vielen Individuen zusammengesetzt erscheinen, weshalb sie ja von Brewster als composite crystals mit tesselated structure bezeichnet wurden. Nach Breithaupt würde z. B. ein Ikositetraëder von doppelbrechendem Granat als ein pyramidaler Krystall mit einer optischen Axe aufzufassen sein, während er in Wirklichkeit ganz anders gebaut ist.

Die Ausführungen von Breithaupt und Schrauf haben daher für uns nicht mehr wie historisches Interesse.

Auch Pfaff (65) spricht sich gegen Breithaupt aus und meint, dass alle die Abweichungen von dem erwarteten optischen Verhalten, welche Breithaupt zur Aufstellung seiner neuen Krystallsysteme bewogen, in

Unregelmässigkeiten des Gefüges ihren Grund haben mögen, die nimmermehr hinreichen, die Annahme neuer Systeme zu rechtfertigen; auch die abweichenden Kantenwinkel liessen sich wohl auf dieselbe Störungsursache zurückführen.

An dieser Stelle verdient die Abhandlung von Ditscheiner »über die Anwendung der optischen Eigenschaften in der Naturgeschichte unorganischer Naturproducte« (52) genannt zu werden, welche sich zwar hauptsächlich mit den optischen Eigenschaften isomorpher Mischkrystalle und der Circularpolarisation beschäftigt, aber auch für das Vorkommen doppelbrechender Granaten, zweiaxiger Turmaline z. B. eine Erklärung geben will.

Sénarmont[1] hatte durch seine Untersuchungen den experimentellen Beweis geliefert, dass optisch zweiaxige isomorphe Substanzen in isomorphen Mischungen optisch einaxig und selbst einfachbrechend werden können, Ditscheiner bringt hierfür den mathematischen Beweis. Bei allen Betrachtungen wird vorausgesetzt, dass in den Mischkrystallen keine Contraction stattfindet. Wo dieses eintritt, haben die Gesetze keine Gültigkeit.

Unter dieser Voraussetzung gilt der Satz: »Die Geschwindigkeit des Lichtes in einem Gemische isomorpher Substanzen ist den Geschwindigkeiten des Lichtes der einzelnen Theile, sowie ihrem Antheil am Gemisch proportional«, folglich ist auch »der reciproke Werth der Brechungsquotienten des Gemisches den reciproken Werthen der Brechungsquotienten der einzelnen isomorphen Substanzen und den Antheilen der letzteren am Gemische proportional«. Sind beide Substanzen gleich, optisch negativ oder positiv, so muss auch jedes der Gemische entweder negativ oder positiv sein; ist aber der eine Körper positiv, der andere negativ, so wird bei einem gewissen Mischungsverhältniss das erhaltene Gemenge weder positiv noch negativ sein können, sondern es wird bloss einfache Strahlenbrechung zeigen, ein Verhalten, das Sénarmont an Mischkrystallen von unterschwefelsaurem Blei und Strontium in der That nachgewiesen hat.

Hier vergisst Ditscheiner, einen wesentlichen Umstand besonders hervorzuheben. Wenn solche Krystalle auch einfachbrechend scheinen, so unterscheiden sie sich, von ihrer Krystallform abgesehen, doch von wirklich einfachbrechenden regulären wesentlich dadurch, dass sie es im allgemeinen nur für eine bestimmte Farbe sind, für andere Farben dagegen wieder einaxig. Auch müsste der Unterschied bei Temperaturänderungen zu Tage treten, da ω und ε in beiden Substanzen verschieden sich ändern werden; ist der Krystall für eine Farbe bei einer bestimmten Temperatur einfachbrechend, so muss er bei einer andern Temperatur für dieselbe Farbe wieder doppelbrechend einaxig werden. Solche Krystalle sind daher ebenso wenig als einfachbrechend schlechthin zu bezeichnen, als etwa quadratische Pyramiden oder Rhomboëder als regulär, wenn ihre dem Octaëder oder Würfel nahe stehende Form bei einer bestimmten Temperatur die Winkel dieser annehmen

[1]) Ann. Chim. 3. Sér. T. XXXIII. P. A. 86, p. 35.

sollte. Das Entscheidende liegt in dem Unterschied der Structur, in der Ungleichwerthigkeit der Richtungen, der Symmetrieebenen.

In ähnlicher Weise können optisch zweiaxige Substanzen in isomorphen Mischkrystallen optisch einaxig und selbst einfachbrechend werden, und »man kann daraus ersehen«, folgert Ditscheiner, »dass die einfache und doppelte Brechung im Allgemeinen nicht so streng an die Krystallform gebunden ist, und es wird Niemand wundern, wenn er einaxige Glimmer neben mehraxigen sieht, ebensowenig es zu wundern ist, wenn es zweiaxige Turmaline, Granaten u. s. w. giebt«.

Den letzteren Satz haben wir nach den Anschauungen Ditscheiner's so zu erklären, dass der Granat als eine isomorphe Mischung zweiaxiger Substanzen aufzufassen sei, und daher optisch zweiaxig, einaxig und einfachbrechend sein kann, wie es in ähnlicher Weise später Mallard annimmt. Wie das Zustandekommen der hoch symmetrischen Krystallform zu erklären sei, erfahren wir von Ditscheiner nicht, wenn wir nicht aus seiner Definition der isomorphen Substanzen als solchen, »welche bei gleicher oder doch ähnlicher Krystallform, die Fähigkeit, in allen beliebigen Verhältnissen zusammenzukrystallisiren, besitzen, ohne dass sie eine wesentliche Veränderung erleidet«, schliessen wollen, ihre Form ahme schon in den zweiaxigen Substanzen höhere Symmetrie nach.

Diese Abhandlung Ditscheiner's scheint wenig bekannt geworden zu sein, wenigstens wird sie in den Arbeiten von Dufet[1]), Fock[2]) und Mallard[3]), welche speciell über die optischen Eigenschaften isomorpher Mischkrystalle handeln, nicht erwähnt.

IV. A. Scacchi's Polysymmetrie[4]).

Unsere Betrachtungen würden eine Lücke aufweisen, wenn wir nicht auch die Ansichten Scacchi's in den Kreis derselben hineinzögen. Allerdings ist zu bemerken, dass sich seine Ausführungen weniger auf das optische Verhalten der Krystalle beziehen, und dass er sich speciell mit optisch anomalen Krystallen gar nicht beschäftigt hat. Jedoch nach seiner Auffassung würden auch diese als polysymmetrisch z. Th. bezeichnet werden können, und darum findet er hier seinen Platz.

»Wir sind gewöhnt, an den Krystallen mehr die geometrischen Charaktere als die übrigen physikalischen Eigenschaften in Betracht zu ziehen und ihre wichtigsten Unterschiede zunächst aus den ersteren zu entnehmen, die in

1) C. r. 86, p. 881. Bull. min. I, p. 58—61.
2) Z. Kr. IV, p. 583—608.
3) A. M. Mars—Avril 1881. Paris.
4) Über die Polysymmetrie der Krystalle, übersetzt von C. Rammelsberg. Z. g. G. 1864, p. 35—55.

vielen Fällen unfähig sind, eine Änderung zu erleiden, ohne dass nicht gleichzeitig das System dadurch ein anderes würde. Dieser Umstand ist offenbar ein Hinderniss für die hier betrachteten Erscheinungen. Wir müssen uns fortan gewöhnen, die geometrischen Eigenschaften der Krystalle als den Ausfluss der physikalischen zu betrachten und zugestehen, dass die Gruppirung der Krystalle in sogenannte Systeme, die auf geometrische Verhältnisse basirt sind, dem Fortschritt der Wissenschaft zwar lange Zeit förderlich, jetzt gleichsam hinderlich ist und durch eine mehr natürliche Methode ersetzt werden muss.« A. Scacchi thut dies durch die Annahme von Polysymmetrie:

»Die Polysymmetrie ist vorhanden, sobald die einem bestimmten Symmetriegesetz zufolge gleichartigen Theile eines Krystalls verschiedene physikalische Eigenschaften annehmen, ohne dass der geometrische Charakter sich ändert, wiewohl derselbe dadurch verhüllt werden kann, um so mehr, als die entsprechenden Winkel nicht genau übereinstimmen, eine natürliche Folge der physikalischen Differenzen, welche bewirken, dass die Polyëdrie sich an den Flächen in anderem Sinne äussert.

»Polysymmetrie ist die Eigenschaft gewisser Körper, dieselbe Krystallform mit verschiedenem Symmetriegesetz und verschiedenen physikalischen Eigenschaften zu haben.«

Als Beispiele für polysymmetrische Substanzen führt Scacchi unter anderen an: das schwefelsaure und chromsaure Kali, welche für sich rhombisch, ersteres häufig in den bekannten, einer hexagonalen Pyramide ähnlichen Drillingen, krystallisiren und in ihren Winkelwerthen hexagonaler Symmetrie sich nähern. Enthält aber das schwefelsaure Kali noch schwefelsaures Natron, in dem Verhältniss des Natron zu Kali von 2 : 5 bis 8 : 5, so sind die Krystalle hexagonal-rhomboëdrisch und optisch einaxig. Von Mineralien bezeichnet Scacchi als polysymmetrisch: Orthoklas und Albit; die Glimmer; Harmotom, Phillipsit und Gismondin; Leadhillit und Susannit; Mesotyp und Skolezit.

Wenn Scacchi in derselben Arbeit als charakteristische Eigenschaften der polysymmetrischen Substanzen die Änderung des optischen Verhaltens hervorhebt und die Art, wie die Krystalle des einen Typus durch eine Temperatur zerstört werden, welche die des andern nicht angreift, so hatte er hauptsächlich die Temperatur der Lösung im Auge, aus welcher die Krystalle sich abscheiden. Dass einige der von ihm genannten Krystalle auch ausserhalb der Lösung durch Temperaturänderung aus einer Modification in die andere übergeführt werden können, wusste Scacchi noch nicht. Sowohl das rhombische schwefelsaure Kali [1]) als auch der Leadhillit [2]) werden bei höherer Temperatur optisch einaxig.

Ein analoges Verhalten zeigen die durch Dimorphie der Substanz anomalen Krystalle, die wir später kennen zu lernen haben; auch bei ihnen kann durch Temperaturänderung die eine Modification in die andere über-

1) Mallard, Bull. min. V. p. 214. 1882.
2) Mügge, N. Jb. 1884, I. p. 63 u. 204.

geführt werden. In dem Sinne Scacchi's könnten auch diese als polysymmetrisch bezeichnet werden, jedoch erwähnt er in seiner Arbeit über die Polysymmetrie keins dieser Mineralien.

Dass diese Auffassung seiner Anschauung entspricht, sehen wir daran, dass er später selbst den Leucit als polysymmetrisch erklärte (79. P. A. p. 224), den eingewachsenen als regulär, den aufgewachsenen als quadratisch. Hiergegen hat allerdings G. vom Rath Einsprache erhoben (79), weil die eingewachsenen Krystalle ebenso doppelbrechend seien wie die aufgewachsenen; jedoch kam J. Hirschwald (82) auf die Annahme Scacchi's wieder zurück und betrachtete den Leucit als polysymmetrisch.

Von diesem einen Falle abgesehen, hat die Polysymmetrie bei Erklärung der optisch anomalen Krystalle keine Rolle gespielt.

Von diesen Forschern, welche mit Moigno beginnen, in deren Anschauungen wir z. Th. die Keime der später von Mallard entwickelten Hypothese erkennen, wenden wir uns nun zu denen, welche einen andern Standpunkt vertreten, und in dem Vorhandensein von inneren Spannungen die Ursache von optischen Anomalien glauben suchen zu dürfen.

V. Neumann - Marbach - Reusch.

In das Jahr 1841, in dem die Biot'sche Hypothese der Lamellarpolarisation aufgestellt wurde, fällt die Abhandlung von F. E. Neumann über die Gesetze der Doppelbrechung des Lichtes in comprimirten oder ungleichförmig erwärmten unkrystallinen Körpern (36). Obgleich sie sich nicht auf Krystalle bezieht, so muss sie doch hier angeführt werden, weil auch in Krystallen durch dieselben Kräfte ähnliche Erscheinungen hervorgerufen werden können.

Gleichförmig nennt Neumann die Dilatation (oder Contraction) eines Körpers, wenn dieselbe an jeder Stelle desselben sowohl in Beziehung auf Richtung als Grösse gleich ist, wiewohl sie in verschiedenen Richtungen verschieden ist. Wenn ein rechtwinkliges Parallelepipedon, welches mit einer seiner Seitenebenen auf einer festen, ebenen Unterlage ruht, durch einen gleichmässig über die gegenüberstehende Seitenebene vertheilten, senkrecht gegen dieselbe gerichteten Druck comprimirt wird, so ist dieser Körper gleichmässig comprimirt; er ist dies auch noch, wenn ein zweiter und ein dritter Druck auf die zwei anderen Flächenpaare ebenso wirkt, wie der erste Druck auf das erste Flächenpaar.

Ein gleichförmig dilatirter unkrystallinischer Körper ist doppelbrechend und es wird der vorzüglichste Theil der Doppelbrechung des Lichtes durch eine veränderte Anordnung der Aethertheile hervorgebracht, welche dieselbe Symmetrie wie die der festen Theile des Körpers besitzen muss. Hieraus wird geschlossen, dass die Doppelbrechung des gleichförmig dilatirten unkrystallinischen Körpers dieselben Gesetze befolgen muss, welche Fresnel für

die Doppelbrechung in krystallinischen Medien entdeckt hat, und es müssen die Axen der optischen Elasticitätsfläche und der Elasticitätsfläche des Druckes in dem dilatirten Körper dieselben Richtungen haben, und die ersteren müssen Functionen der letzteren sein, wofür der Beweis erbracht wird. Ein gleichförmig dilatirter unkrystalliner Körper verhält sich demnach gegen das Licht wie ein Krystall-Individuum.

Im Gegensatz hierzu ist ein ungleichförmig dilatirter Körper einem Aggregat von unendlich vielen, sehr kleinen Krystall-Individuen zu vergleichen, deren optische Elasticitätsaxen eine stetige Function des Ortes sind, sowohl in Beziehung auf ihre Richtung als ihre Grösse.

Schliesslich wird die Theorie der Farben entwickelt, welche in durchsichtigen unkrystallinischen Körpern im polarisirten Licht aus der ungleichen Temperaturvertheilung entstehen.

Von diesen theoretischen Betrachtungen ist für uns der Nachweis, dass ein gleichförmig dilatirter Körper sich wie ein optisch einaxiges oder zweiaxiges Krystall-Individuum verhält, von Wichtigkeit.

Der erste nach Biot, welcher eigene Beobachtungen an mehreren anomalen Krystallen angestellt und mitgetheilt hat, ist Marbach gewesen (47). Er untersuchte bromsaures Nickel ($Ni\,Br_2\,O_6 + 6\,aq$), bromsaures Kobalt ($Co\,Br_2\,O_6 + 6\,aq$), salpetersauren Strontian ($Sr\,N_2\,O_6$), salpetersauren Baryt ($Ba\,N_2\,O_6$), salpetersaures Blei ($Pb\,N_2\,O_6$), chlorsaures Natron ($Na\,Cl\,O_3$), bromsaures Natron ($Na\,Br\,O_3$) und essigsaures Uranoxyd-Natron.

»Die fünf ersteren Salze zeigen die polarisation lamellaire, die drei letzteren circuläre Polarisation des Lichtes; einzelne Krystalle zeigen die circuläre Polarisation, verbunden mit der polarisation lamellaire.«

Wenn wir nun Marbach nicht bei den Nachfolgern von Biot besprochen haben, obwohl er Lamellarpolarisation annimmt, so geschah dies, weil er unter Lamellarpolarisation etwas wesentlich anderes versteht wie Biot. Wir geben seine Ansicht am besten mit seinen eigenen Worten (47, p. 425):

»Wenn bei einer einfachbrechenden Substanz eine Schicht eingelagert ist, so genügt nicht die Annahme, dass dieselbe zwillingsartig, in Rücksicht ihrer Durchgänge gegen die umgebende Masse geneigt gestellt sei, indem der Brechungsexponent der Masse gleich dem der Schicht sein würde. Vielmehr muss man die Annahme machen, dass die Schicht eine doppelbrechende sei. In einigen Fällen kann dies in der That dadurch bewirkt sein, dass die eingelagerte Schicht ein chemisch anderer Körper ist, z. B. eine Verbindung von Wasser mit den Bestandtheilen der umgebenden Masse. In anderen Fällen tritt vielleicht bei der Bildung grösserer Krystalle durch den fortschreitenden Act der Krystallisation eine Spannung der Theile ein, welche in bestimmten Schichten ihre grössten Werthe annimmt und dort eine merkliche Doppelbrechung und damit eine Wirkung auf polarisirtes Licht bedingt.«

Also nicht eigentlich Lamellarpolarisation, sondern Spannung wird von Marbach als Ursache der Doppelbrechung in regulären Krystallen angenommen.

Zwölf Jahre später versuchte E. Reusch auf experimentellem Wege die Annahme zu beweisen, dass die Doppelbrechung der regulären Krystalle, speciell die des Alaun, eine Folge von inneren Spannungen sei.

E. Reusch hat die zu seiner Untersuchung benutzten Alaune, wenigstens zum Theil, durch Herrn Professor Ulrich, jetzt in Hannover, bekommen, und sie waren, wie Herr Professor Ulrich gelegentlich mir mitgetheilt hat, ammoniakhaltig, also ebenfalls isomorphe Mischkrystalle, wie die von Biot benutzten.

Eine Platte parallel dem Würfel aus diesen octaëdrischen Krystallen hergestellt, hellt das Gesichtsfeld des Polarisationsapparates auf, wenn die Diagonalen der angeschliffenen Quadrate, d. h. die horizontalen Axen des Octaëders, mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen. Die Diagonalen erscheinen in dieser Stellung, wie es schon Biot beschrieben hat, als ziemlich scharfe dunkle Linien, welche die Platte in vier Sectoren theilen; in jedem Sector ist die kleinste optische Elasticitätsaxe der Randkante parallel, wie es bei Mischkrystallen von Kali- und Ammoniakalaun der Fall ist.

Dass die Doppelbrechung Folge innerer Spannung sei, schliesst E. Reusch aus dem Verhalten der Krystalle gegen Druck: Übt man mit einer Presse einen mässigen Druck längs MM aus, so hellen sich die Dreiecke AOD und BOC (Fig. 2) mehr auf, während sich die beiden andern verdunkeln; presst man nach Entfernung der Ecken längs PP oder QQ, so wird bei einem bestimmten Druck die ganze Platte dunkel. Ein jeder Sector verhält sich also wie gespannt parallel seiner Randkante. Die Spannung muss grösser werden, wenn der Druck senkrecht zur Randkante wirkt, sie muss kleiner werden, wenn der Druck parallel zu derselben, also der Spannung entgegen wirkt. Da die Randkanten die Durchschnitte mit den Octaëderflächen darstellen, so liegen die Spannungen in der Ebene der Octaëderflächen und sind hier in der Art wirksam zu denken, dass die optische Elasticität in diesen Flächen nach allen Richtungen gleich, aber kleiner als senkrecht dazu sei.

Mit anderen Worten heisst dies letztere: in der Richtung der Octaëderflächen sind die Alaunkrystalle optisch einaxig, die optische Axe ist senkrecht zu den Octaëderflächen und der optische Charakter ist negativ. Wir werden sehen, dass die Mischkrystalle von Kali- und Ammoniakalaun in der That sich so verhalten.

In der Erklärung für das Zustandekommen der Spannungen schliesst sich E. Reusch den Anschauungen Marbach's an und nimmt an, dass bei einem in einer Lösung wachsenden Krystall der Übergang in den festen Zustand kein plötzlicher sei, sondern dass die der Krystallfläche nächst anliegende Flüssigkeit gegen den Krystall hin aus Schichten von wachsendem Stoffgehalt bestehe. Nun giebt es Substanzen, die Colloide, welche bei Entfernung des Lösungsmittels eine erhebliche Contraction zeigen und hierdurch Flächen, an welche sie sich anlegen, in tangentielle Spannung versetzen. Es sei denkbar, dass dieselbe Eigenschaft, wenn auch in viel geringerem Grade, gewissen Krystalloiden zukomme. Und wenn dem so sei, so liege allerdings im Acte

der Krystallisation ein Antrieb zur Ablagerung unter tangentieller Spannung, sofern beim Wachsen des Krystalls eine demselben eben einverleibte Schicht ihren Rest des Lösungsmittels an die benachbarte Schicht nicht abgeben kann ohne eine Tendenz zur Contraction.

Schon in dieser ersten Abhandlung (69, p. 619) hebt Reusch hervor, dass man die Erscheinungen, welche würfelige Alaunplatten im polarisirten Licht zeigen, vollkommen durch geeignet combinirte Glimmerblättchen nachahmen könne: »Die Alaunplatte wirkt somit wie vier aus sehr dünnem zweiaxigen Glimmer herausgeschnittene rechtwinklige Dreiecke, in welchen die Hypotenusenflächen alle mit der Supplementarlinie des Glimmers (Richtung der kleinsten Elasticität) zusammenfallen, und welche auf einer Glasunterlage zu einem Quadrat *ABCD* zusammengestellt sind«, und in seiner Arbeit über die Glimmercombinationen (73) kommt er auch auf optisch anomale Krystalle zu sprechen und vergleicht das Verhalten dieser mit dem jener. Er nimmt nun aber nicht an, wie dies später Mallard gethan hat, dass die anomalen Krystalle aus Lamellen geringerer Symmetrie aufgebaut seien, sondern aus solchen, in denen »durch innere Spannungen und Contractionen eine Störung der ursprünglichen Structur herbeigeführt ist«. Den Glimmerblättchen in den Glimmercombinationen entsprechen »Spannungsebenen« in anomalen Krystallen, und die Erscheinungen, welche diese zeigen, können nachgeahmt werden, wenn man Glimmerblättchen in der geeigneten Weise combinirt; Reusch erklärt die Anomalien der regulären und optisch einaxigen Krystalle immer durch die Annahme von Spannungen.

Diese beiden Arbeiten von Reusch enthalten gleichsam die Keime der später zur Geltung gekommenen und sich noch jetzt gegenüberstehenden Ansichten über die Ursache vieler optischer Anomalien. In der Annahme von Spannungen sind ihm namentlich die deutschen Forscher gefolgt, während Mallard und andere französische Forscher den Vergleich mit Glimmercombinationen aufgegriffen haben und zu der Annahme gekommen sind, dass die anomalen Krystalle aus Lamellen geringerer Symmetrie, die nach Art der Glimmercombinationen gekreuzt sind, aufgebaut seien.

Ehe wir nun zur Besprechung der von Mallard entwickelten Hypothese übergehen, wollen wir versuchen, kurz darzulegen, in welcher Weise man vor dem Erscheinen der Mallard'schen Abhandlung die optischen Anomalien der Krystalle erklärte.

VI. Standpunkt der Frage vor Mallard.

Seit dem Erscheinen der Abhandlungen von Biot, Volger, Marbach und Reusch werden die optischen Anomalien bald nach der Annahme des einen, bald nach der des andern Forschers erklärt; nur die Ansichten derjenigen, die wir als Vorläufer von Mallard bezeichnet haben, finden kaum jemals Beifall.

In seiner wichtigen Arbeit über die optischen Eigenschaften der Krystalle (66) kommt Des Cloizeaux auch auf das anomale Verhalten mancher zu sprechen und erklärt es in sehr verschiedener Weise. Für gewisse Krystalle von Alaun und Analcim nimmt er an, dass sie aus Schichten verschiedener Dichtigkeit beständen, und hierdurch die Erscheinungen hervorrufen, welche Biot mit dem Namen polarisation lamellaire belegt hat. Für den Boracit führt er mit Volger die Doppelbrechung auf Parasitlamellen zurück, für Senarmontit hält er es wegen des geringen Arsengehaltes für möglich, dass Lamellen von rhombischer arseniger Säure eingelagert seien. Die Zweiaxigkeit von Beryll, Turmalin, Apophyllit u. s. w. führt er auf Dichtigkeitsunterschiede in den Schichten des Krystalls, oder auf unvollkommenen Parallelismus der zahlreichen Individuen, aus welchen der Krystall besteht, zurück (gewisse Krystalle von Quarz, Zirkon, Mellit, Idokras u. s. w.). Bei manchen, z. B. vielen Kalkspathkrystallen entstehe Zweiaxigkeit durch Zwischenlagerung dünner Zwillingslamellen.

Wichmann (90) glaubte, die schwache, schon von Des Cloizeaux (71) bemerkte Doppelbrechung des Grossular auf Lamellarpolarisation zurückführen zu können, da nur an den Stellen, wo ein schalenförmiger Aufbau sich zu erkennen gab, Polarisationsfarben hervortraten und die Lamellen abwechselnd ein helleres oder dunkleres Graublau zeigten. Bei anderen Granaten, welche durch radial angeordnete Einschlüsse einen concentrisch-radialen Aufbau erkennen lassen, könnten vielleicht während ihrer Bildung gewisse Spannungsverhältnisse obgewaltet haben, wodurch jene Doppelbrechungserscheinungen hervorgerufen würden. Die Erscheinungen dagegen, welche Granaten aus der Gegend von Schwarzenberg zeigen, — ein einfachbrechender Krystallkern, umgeben von zahlreichen, lebhaft, aber verschieden stark polarisirenden Lamellen — könnten nur mit denen des Boracits verglichen werden, aber sie beruhten nicht, wie Volger für den Boracit annehme, auf beginnender Umwandlung, sondern seien um so schöner, je frischer die Substanz. Eine genügende Erklärung für die Doppelbrechung dieser Granaten konnte Wichmann nicht finden.

In Übereinstimmung mit Wichmann führte A. von Lasaulx (91) die nur wenig intensiven Erscheinungen unregelmässiger Polarisation der Granaten auf innere Spannungsvorgänge zurück, und in gewissen anderen Erscheinungen glaubte er Anzeichen beginnender Umwandlung zu sehen. Dagegen hielt er die regelmässigen, den äusseren Umrissen parallel verlaufenden, doppelbrechenden Streifen für eine Verwachsungserscheinung und glaubte, dass dem Granat eine doppelbrechende Substanz, vielleicht Vesuvian, eingelagert sei.

Eine besondere Rolle, geeignet, in hohem Grade die Aufmerksamkeit der Mineralogen auf die optisch anomalen Krystalle hinzulenken, und den Boden für die späteren Mallard'schen Anschauungen empfänglich zu machen, spielten der Leucit, der Boracit und der Perowskit.

Der Leucit galt als das Muster eines regulären Krystalls und die Form, in der er sich immer findet, wurde allgemein als Leucitoëder bezeichnet. Da beobachtete G. vom Rath (79) im Frühjahr 1871 an aufgewachsenen Leucitkrystallen vom Vesuv eine eigenthümliche Streifung auf den Ikositetraëderflächen, welche ihn zu einer genaueren Untersuchung veranlasste. Die Streifen sind parallel entweder den kürzeren (den sog. hexaëdrischen) Kanten oder den symmetrischen Diagonalen der trapezoidischen Flächen und man bemerkt zuweilen auf einer einzigen Fläche drei Streifenrichtungen. Je ein Streifen bleibt immer in einer Ebene und diese ist parallel einer Fläche des Rhombendodekaëders. Diese Streifen führte G. vom Rath auf Zwillingsbildung zurück, dann aber konnte der Leucit nicht regulär sein, da nach den Flächen des Rhombendodekaëders als Symmetrieebenen Zwillingsbildung nicht möglich ist. Durch die hieraufhin angestellten Messungen wurde dargethan, dass in der That solche Kanten, welche bei Voraussetzung des regulären Systems hätten identisch sein müssen, Unterschiede bis zu fast 5 Grad zeigen.

Durch diese, an ausgesucht guten Krystallen vorgenommenen Messungen bestimmte G. vom Rath das Krystallsystem der aufgewachsenen Leucite als quadratisch; die Streifen sollen von Lamellen herrühren, welche zwillingsartig nach dem ersten spitzeren Oktaëder $2P\infty$ (201) den Krystall durchsetzen. Die Doppelbrechung, welche schon Brewster (17. 25) und Biot (35) beobachtet, Des Cloizeaux (71) und Zirkel (72) genauer beschrieben hattten, war nun nicht mehr so auffallend wie vorher.

Gegen diese Auffassung wandte sich in einer längeren Abhandlung J. Hirschwald (82). Er wies nach, dass die eingewachsenen Leucite der Sommalaven zum Theil eine durchaus präcise reguläre Entwicklung aufweisen, dass aber auch bedeutende, nach mitgetheilten Messungen von A. Scacchi bis zu 3° 18′ betragende Winkeldifferenzen vorkommen, jedoch ohne jede Andeutung einer quadratischen Ausbildung. Durch Zusammenstellung aller Messungsresultate überzeugte sich Hirschwald, »dass die gesammte goniometrische Entwicklung des Leucitsystems, bei völlig gleichbleibender Gestaltung seiner Combinationsverhältnisse, eine continuirliche Reihe von Übergängen darstellt, mit dem präcisen regulären Typus beginnend und fortschreitend bis zu den mehr oder weniger prägnant ausgebildeten quadratischen Formen der aufgewachsenen Krystalle«.

Durch optische Untersuchung stellte Hirschwald fest, dass sowohl die aufgewachsenen als auch die eingewachsenen Leucite eine durchaus vollzählig reguläre, polysynthetische Zwillingsbildung zeigen nach allen Flächen des Granatoëders, oder, bei quadratischer Auffassung, nicht nur nach den Flächen der Pyramide $2P\infty$ (201), sondern auch des Prisma ∞P (110), welche aber wieder Symmetrieebenen sind. Aus alledem kommt Hirschwald zu dem Schluss, dass »die Existenz regulärer und quadratisch entwickelter Individuen auf eine dimorphe Ausbildung des Leucits nicht zurückführbar ist; vielmehr enthält die Vermuthung Scacchi's, dass der Leucit polysymmetrisch sei, durch den Nachweis zweifellos regulär gebildeter Krystalle, ihre volle Bestätigung.

Es wird somit der Leucit als eine reguläre Krystallspecies mit polysymmetrischer Entwicklung, im Sinne des quadratischen Systems zu betrachten sein«.

Die Folge dieser Arbeit war eine ziemlich heftige Auseinandersetzung zwischen G. vom Rath und J. Hirschwald, auf deren Einzelheiten wir hier nicht einzugehen brauchen, da neue Beobachtungen nicht mitgetheilt wurden; es genüge die Bemerkung, dass die Beobachtungen von J. Hirschwald sich in der späteren Zeit im allgemeinen als richtig erwiesen haben, aber damals weniger anerkannt wurden, als die von G. vom Rath. Namentlich seine Angabe, dass die Zwillingsbildung nach allen Flächen des Granatoëders, also bei quadratischer Auffassung auch nach den Flächen des Prisma $\infty P(110)$ erfolge, hat sich, wie C. Klein später bemerkt, als durchaus richtig erwiesen. Da aber diese Flächen auch im quadratischen System Symmetrieebenen sind, so kann Zwillingsbildung nach ihnen nicht statt haben, und der Leucit hätte für rhombisch erklärt werden müssen. G. vom Rath aber hielt an dem quadratischen System fest, und seine Anschauung wurde fast allgemein adoptirt, besonders nachdem auch Des Cloizeaux (80) sich dahin geäussert hatte, »dass von optischer Seite nichts im Wege steht, das Krystallsystem des Leucit als quadratisch anzusehen«.

Eine ähnliche Rolle wie der Leucit spielte der Boracit, nur mit dem Unterschied, dass seine äussere Form nie anders als regulär aufgefasst wurde. Wir haben schon gesehen, dass Volger die Doppelbrechung durch die Annahme zu erklären versucht hatte, die Substanz sei nicht mehr die ursprüngliche des Boracit, sondern sei z. Th. umgewandelt in ein Aggregat prismatischer Krystalle, den Parasit, zwischen welchen sich noch ursprüngliche, einfachbrechende Boracitsubstanz befände. Diese Erklärung fand allgemeine Zustimmung und wir finden sie in den Lehrbüchern der Mineralogie bis in die Mitte der siebziger Jahre.

Da zeigte 1876 E. Geinitz (89), dass die Boracitkrystalle von Lüneburg ihre auffallenden Farbenerscheinungen bei gekreuzten Nicols nicht den faserigen Parasitaggregaten, oder spiessförmigen Einlagerungen und auch nicht lediglich den Spannungsverhältnissen in ihrem Innern verdanken, sondern dass Partien, welche frei von diesen Dingen sind, dennoch bei gekreuzten Nicols in hellen Farben erscheinen, also die Boracitsubstanz als solche doppelbrechend ist.

E. Geinitz hebt bei der Besprechung hervor, dass man in allen Krystallen farblose, auf den Flächen des Granatoëders auch des Würfels und Tetraëders senkrecht stehende Fasern beobachten könne, welche spiessförmig nach der Mitte des Krystalls sich erstrecken und im polarisirten Licht grell hervorleuchten. Zwischen den Fasersystemen liege als unangegriffener Rest farblose Substanz, die bei gekreuzten Nicols meist helle, graublaue Farbe zeige. An den Fasern stelle sich zuerst die Zersetzung ein, welche dann in der nämlichen senkrechten Richtung nach dem Innern fortschreite. Ob die Fasern selbst für ein secundäres Umwandlungsproduct zu halten seien, sei zweifelhaft wegen ihres frischen Aussehens, jedoch sei es nicht unmöglich, sie als Pseudomorphose, in ihrem ersten Stadium wohl Paramorphose anzusprechen.

Weitere Untersuchungen, schliesst E. Geinitz, würden Erfolg versprechend sein. Wir werden sehen, dass man allerdings den Boracit in seinem jetzigen Zustand als Paramorphose bezeichnen kann.

Das dritte dieser räthselhaften Mineralien ist der Perowskit. Seine äussere Form ist, wie die des Boracit, regulär; die Winkel weichen nur innerhalb der Messungsfehler von dem berechneten Werthe ab, dagegen zeigt er lebhafte, von Des Cloizeaux schon i. J. 1858 (48) beobachtete Doppelbrechung.

Hessenberg, welcher sich mit der Entzifferung der flächenreichen Krystalle von Wildkreuzjoch in Tyrol sehr eingehend beschäftigt hat, betont wiederholt, dass die Winkel den Anforderungen des regulären Systems vollkommen genügen, obwohl in der Regel die Flächen der einzelnen Formen unvollzählig ausgebildet sind. Die Doppelbrechung der Krystalle sucht er durch die Annahme zu erklären (76), dass »das innere Gefüge sich nicht mehr in seinem ursprünglichen Zustand befinde, diesen vielmehr abgeändert habe; es liege eine Umstellung der kleinsten Theilchen ohne Änderung des chemischen Bestandes, kurz der Fall einer Heteromorphie der Substanz $CaTiO_3$ vor«, und diese wäre etwa ähnlich der von $NiSO_4 + 7\,aq$, von $CaCO_3$ und S, eine Ansicht, die schon früher A. Des Cloizeaux geäussert hatte.

Durch die auffallend starke Doppelbrechung des Perowskit sah sich auch N. v. Kokscharow (77) veranlasst, die Krystalle einer erneuten sorgfältigen Messung zu unterwerfen, konnte aber ebenso wenig wie G. vom Rath (78) irgend erhebliche Abweichungen von der regulären Symmetrie auffinden und kam zu dem Schluss, »dass alle krystallographischen Beobachtungen und Messungen die Perowskit-Krystalle zu keinem anderen als nur zum Tesseralsystem gehörig zu betrachten erlauben«. Wegen der auf den Würfelflächen beobachteten Streifung betrachtete er die Krystalle als parallelflächig-hemiëdrisch und die meisten als Durchkreuzungszwillinge.

Bezüglich des optischen Verhaltens giebt Kokscharow an, dass Des Cloizeaux ihm mitgetheilt habe, der Perowskit sei nicht einaxig, wie Hessenberg angegeben habe, sondern zweiaxig, und er glaubt, man müsse die Ursachen aller dieser Anomalien in der inneren Structur der Perowskitkrystalle suchen. Er hofft, dass es Des Cloizeaux gelingen werde, das Räthsel zu lösen.

Des Cloizeaux, welcher sich bald darauf (84) über den Perowskit äussert, kommt nun zu der Annahme, dass »nach den krystallographischen Beobachtungen, zu denen wir Alle beigetragen haben, es augenscheinlich ist, dass der Perowskit im regulären System krystallisirt; doch die Krystalle sind immer Zwillinge und ausserdem erfüllt von doppelbrechenden Lamellen, höchst wahrscheinlich analog dem Boracit«. Jedoch betont er an anderer Stelle (94), dass, ob man die Einschaltung zahlreicher doppelbrechender Lamellen annehme oder die Substanz des Perowskit selbst als doppelbrechend betrachte, sich immer die grosse Schwierigkeit biete, zu erklären, wie in dem einen oder anderen Falle eine dem äusseren Anschein nach vollkommen reguläre Gestalt entstehe.

Diese Schwierigkeiten suchte endlich N. v. Kokscharow (83) durch Annahme des rhombischen Systems zu umgehen: »Ich nehme an, dass die Perowskitkrystalle zu dem regulären System sich gerade so verhalten, wie die Glimmerkrystalle zu dem hexagonalen System. Wenn wir für das rhombische Prisma des Glimmers (im naturhistorischen Sinne) die Winkel = 120° 0′ und 60° 0′ angenommen haben und auf diese Weise zu dem hexagonalen Prisma gelangt sind, warum sollen wir nicht für das rhombische Prisma des Perowskit (auch in demselben Sinne) die Winkel genau = 90° 0′ oder solche, welche sich von dieser Zahl durch 2 oder 3 Minuten unterscheiden, annehmen? .... Hat man ein Mal eine solche Eigenthümlichkeit in Betracht genommen, erklärt sich alles andere von selbst.« Er führt dann aus, wie die regulären Formen bei Annahme des rhombischen Systems zu deuten seien.

Wir können diesen Überblick schliessen mit den Worten N. v. Kokscharow's (83, p. 375): »Die Krystallisation des Perowskit ist seit dieser Zeit wirklich problematisch geworden, und die Frage: auf welche Weise man den Frieden herstellen kann, zwischen der Krystallform und der optischen Zweiaxigkeit? — eine Tagesfrage.«

B. Hypothese Mallard's.

Literatur.

Er. Mallard. Explication des phénomènes optiques anomaux que présentent un grand nombre de substances cristallisées. (A. M., 7. X. p. 60—196. 1876. Auch separat.)

Die Arbeit Mallard's über die optischen Anomalien ist durch die Fülle der mitgetheilten Beobachtungen und die Neuheit der consequent durchgeführten Anschauungen von solcher Bedeutung, dass es gerechtfertigt erscheint, sie gesondert von den vorhergehenden und nachfolgenden Arbeiten zu besprechen. Sie verdient diese Sonderstellung auch darum, weil sie in hohem Grade die Aufmerksamkeit der Mineralogen auf die Anomalien gelenkt und direct und indirect eine Menge neuer Untersuchungen veranlasst hat.

Versuchen wir nun, uns mit den Mallard'schen Ideen, wie sie in der erwähnten Abhandlung niedergelegt sind, vertraut zu machen!

Es giebt Krystalle von geringer Symmetrie, welche durch ihre Winkelwerthe höher symmetrischen nahe stehen; eins der bekanntesten Beispiele sind die rhombischen Carbonate, als deren Typus Aragonit gelten mag.

Das am Aragonit immer auftretende Prisma hat einen Winkel von annähernd 120°, der rhombische Aragonit nähert sich also in seinen Dimensionen dem hexagonalen System. Nach der Hypothese von Bravais über die Structur der Krystalle würde das Raumgitter (réseau cristallin) des Aragonit eine

Grenzform besitzen, es würde an der Grenze stehen zwischen einem rhombischen und hexagonalen Raumgitter.

Solche Grenzformen kommen in allen Systemen mit Ausnahme des höchst symmetrischen, des regulären, vor; im quadratischen z. B., wenn die Verticalaxe den Nebenaxen annähernd gleich wird, im rhombischen, wenn ein Prismawinkel annähernd 90° oder 120° beträgt etc. Die Primitivform würde demnach pseudoregulär, pseudoquadratisch, pseudohexagonal etc. sein.

Die Krystalle, welche in dieser Weise eine Grenzform besitzen, haben grosse Neigung zu Zwillingsbildung und durch diese wird die Symmetrie ihrer Form noch erhöht, so dass es mitunter schwer sein kann, durch Winkelmessung die wahre, niedere Symmetrie zu ermitteln. In einem solchen Fall führt nur die optische Untersuchung zum Ziel, denn das optische Verhalten der Einzel-Individuen bleibt immer constant und sehr verschieden von dem factisch höher symmetrischer Krystalle. Zur richtigen Entzifferung derartiger Zwillingsbildungen verdient die optische Untersuchung vor jeder andern den Vorzug.

Zwillingsbildung kann in verschiedener Weise erfolgen und je nachdem dies geschieht, unterscheidet man Juxtapositions- und Penetrationszwillinge; die letzteren sind für uns von Bedeutung. Als Beispiel dient wieder Aragonit. Die den Zwilling bildenden Individuen sind so durch einander hindurchgewachsen, dass die Verticalaxen alle unter einander parallel, die Horizontalaxen aber um 60° oder 120° gegen einander gedreht sind; die Verwachsungsflächen sind unregelmässig, und die verschiedenen Individuen können sich mehr oder weniger tief durchdringen, so dass mitten in dem einen, Theile der andern Individuen sich befinden können.

Die Structur solcher Penetrationszwillinge ist nach Mallard einfachen Gesetzen unterworfen, die sich leicht aus der Bravais'schen Theorie ableiten lassen:

Sie kommen nur vor bei Krystallen mit einer Grenzform. Denken wir uns ein solches Raumgitter und nehmen an, dass es streng rhombische Symmetrie besitze, aber der quadratischen sich nähere, indem die beiden Horizontalaxen fast gleich werden. Der Umriss der Basis wird zu einem quadratähnlichen Rhombus, die Prismawinkel weichen nur wenig von einander ab. Denken wir uns nun das eine Raumgitter gegen das andere um die Verticalaxe *c* um 90° gedreht, so kommt die Axe *a* im ersten Individuum in die Lage von *b* im zweiten, und *b* in die Lage von *a*; beide nahezu gleichen Axen *a* und *b* haben in den um 90° gedrehten Raumgittern ihre Lage vertauscht. Bei dem einen Raumgitter liegt der grössere, bei dem andern der kleinere Winkel nach vorn, beide weichen nicht mehr von einander ab, als entsprechende Winkel isomorpher Substanzen. Mallard bezeichnet daher die Raumgitter verschiedener Lagen selbst als isomorph und sagt, dass sie ebenso wie isomorphe Substanzen in allen Verhältnissen zu einem Krystall sich vereinigen können, ohne dass der Bau desselben gestört werde. In dem gewählten Beispiel würden die Raumgitter nur zwei verschiedene Lagen einnehmen können, da sie nach einer weiteren Drehung um 90° wieder in die Parallelstellung kommen.

Hat aber der rhombische Krystall ein Raumgitter mit einem Winkel von annähernd 120°, so besitzt er um seine Verticalaxe fast dreizählige Symmetrie, d. h. nach einer Drehung um 120° würden die Molekülschwerpunkte fast genau wieder mit den Knotenpunkten des Gitters zusammenfallen. Die Zwillinge solcher Krystalle würden aus drei isomorphen Raumgittern bestehen können.

Ebenso wie pseudoquadratische und pseudohexagonale Krystalle aus Raumgittern von rhombischer Symmetrie aufgebaut sein können, können pseudoreguläre Krystalle aus Raumgittern von quadratischer, hexagonaler, rhombischer etc. Symmetrie bestehen.

Wenn in einem Zwilling die Einzelindividuen aus lauter gleich orientirten und unter sich parallelen Raumgittern bestehen, so hat der Krystall Ähnlichkeit mit Juxtapositionszwillingen. Dies ist der Fall bei vielen Aragonitkrystallen, dem schwefelsauren Kali und andern Substanzen.

Es kann aber auch vorkommen, dass die Raumgitter in dem Sinne Mallard's sich isomorph mischen, d. h. dass die verschieden orientirten Raumgitter abwechselnd an dem Aufbau des Krystalls theilnehmen. In einem pseudoquadratischen rhombischen Krystall z. B. würde der eine isomorphe Bestandtheil durch die Raumgitter gebildet werden, welche den stumpfen Winkel nach vorne wenden, der andere durch die, welche den spitzen Winkel hierher wenden; beide Winkel unterscheiden sich nicht mehr von einander, als Winkel isomorpher Substanzen und es soll daher für beide dasselbe Gesetz gelten: dass die Winkel der Mischkrystalle in der Mitte liegen zwischen denen der beiden Componenten und von dem gegenseitigen Mengenverhältniss abhängen. Wenn also die Winkel nur wenig von 90° abweichen, so werden in einem in der angenommenen Weise gebauten Krystall die Winkel, welche grösser sind als 90° mit denen, welche kleiner als 90° sind, abwechseln, und die Flächen können in einem gewissen Fall genau unter 90° gegen einander geneigt sein, so dass durch Winkelmessung keine Abweichung mehr vom quadratischen System constatirt werden kann.

Was hier für das quadratische System ausgeführt ist, gilt auch für die andern, d. h. nach den Anschauungen Mallard's können durch das innige, zwillingsartige Durchdringen isomorpher Raumgitter von keiner oder geringer Symmetrie Krystalle entstehen, welche in ihrer Form mit regulären, quadratischen, hexagonalen etc. Krystallen übereinstimmen.

Die Winkelmessungen können in diesen Fällen nicht mehr zum Ziele führen, man ist auf die optische Untersuchung, auf das Verhalten der Krystalle im parallelen und convergenten polarisirten Licht angewiesen; dies aber entspricht im allgemeinen nicht der scheinbaren Symmetrie der äusseren Form, sondern der geringeren Symmetrie der den Krystall aufbauenden Raumgitter. Nur bei sehr gleichmässiger Durchdringung tritt vollständige Compensation der ungleichnamigen optischen Elasticitätsaxen ein und das optische Verhalten stimmt alsdann mit der Symmetrie der Form; in den allermeisten

Fällen ist die Compensation keine vollständige und die ursprüngliche niedere Symmetrie ist in den optischen Eigenschaften bewahrt.

Die optische Untersuchung ist daher ein untrügliches Mittel, die wahre Symmetrie der Krystalle zu bestimmen. Wenn z. B. ein Krystall mit regulärer Form Doppelbrechung zeigt, so ist dies unter allen Umständen ein sicherer Beweis, dass er nur scheinbar regulär ist, dass er in Wirklichkeit aus Theilchen von geringerer Symmetrie aufgebaut ist. Welcher Grad von Symmetrie denselben zukommt, muss durch optische Untersuchung ermittelt werden.

Von diesen Anschauungen ausgehend, versucht nun Mallard, die wahre Symmetrie der »anomalen« Krystalle zu ermitteln. Ein Beispiel mag seine Auffassung erläutern.

Der Granat findet sich in den Formen des Octaëders, Granatoëders, Ikositetraëders und Achtundvierzigflächners und ist bald einfachbrechend, bald doppelbrechend, und zeigt in letzterem Falle verschiedenes Verhalten. Es würde hiernach ein Octaëder[1] aus 8 optisch einaxigen Individuen bestehen, auf jeder Octaëderfläche steht eine optische Axe senkrecht. Ein Granatoëder würde aus 12 zweiaxigen, ein Ikositetraëder aus 24 zweiaxigen Individuen bestehen und die erste Mittellinie ist senkrecht je zu einer Granatoëder- oder Ikositetraëderfläche. Ein Achtundvierzigflächner endlich würde aus 48 zweiaxigen Individuen bestehen, deren erste Mittellinie nun aber schief ist zu jeder Fläche; jedes Individuum würde optisch triklinen Charakter haben.

Zur Erklärung dieses Verhaltens nimmt Mallard an, dass alle Granatkrystalle aus Molekülschichten von trikliner Symmetrie aufgebaut seien. Diese seien in jedem der 48 optisch triklinen Individuen eines Achtundvierzigflächners unter einander parallel, jedes sei einheitlich gebaut. In den andern Krystallen seien die triklinen Schichten zwillingsartig mit einander verwachsen und »isomorph gemischt«, und je nachdem dies mehr oder weniger innig geschehen sei, trete mehr oder weniger vollständige Compensation der ungleichnamigen optischen Elasticitätsaxen ein, und das optische Verhalten nähere sich dem rhombischer, hexagonaler oder regulärer Krystalle. Jedes der 24 Individuen eines Ikositetraëders, jedes der 12 eines Granatoëders sei für sich schon ein Zwillingsgebilde trikliner Primitivformen, ebenso jedes der acht optisch einaxigen Individuen eines Octaëders; je inniger und feiner die Zwillingsverwachsung, desto höher die optische Symmetrie. In den einfachbrechenden Granaten sei die Zwillingsverwachsung eine so feine, dass die in Zwillingsstellung befindlichen Molekülschichten in ihrer Wirkung auf das Licht sich vollkommen compensiren, so dass sie gar keine Einwirkung auf das polarisirte Licht auszuüben vermögen.

In ähnlicher Weise erklärt Mallard die optischen Anomalien der andern untersuchten Krystalle sowohl mit regulärer als auch mit weniger symmetrischer Form; der geringsten optischen Symmetrie entspricht immer die Symmetrie der Primitivform einer Substanz, und die geometrisch und optisch

[1] Ich ergänze hier die Angaben Mallard's durch die später von C. Klein in seiner grossen Granatarbeit (N. Jb. 83. I. vergl. Granat) mitgetheilten Beobachtungen.

höher symmetrischen Krystalle derselben entstehen immer durch Zwillingsverwachsung dieser Primitivform.

In consequenter Durchführung dieser Anschauungen kommt **Mallard** u. a. zu einer eigenthümlichen Auffassung des **Dimorphismus**: Für ihn hat jede chemische Verbindung immer dasselbe Raumgitter (»une même substance chimique possède donc toujours le même réseau cristallin«), und die verschiedenen dimorphen, höher symmetrischen Modificationen entstehen durch zwillingsartige Verwachsung der einzelnen, weniger symmetrischen Molekülschichten.

Dem entsprechend sieht **Mallard** in dem Isländischen Doppelspath z. B. weiter nichts als ein Aggregat kleinster, in verschiedenem Sinne gekreuzter Krystalllamellen von nicht höherer Symmetrie wie die des Aragonit; der Übergang wird vermittelt durch optisch anomale Kalkspathkrystalle, welche durch Zweiaxigkeit die niedere Symmetrie andeuten. Dass der Isländische Doppelspath so vollkommen homogen ist, sei nicht wunderbarer als das Vorkommen von einfachbrechenden Granaten, beides sei durch seine Theorie vorgesehen.

Indessen muss schon **Mallard** zugeben, dass dieser Erklärungsweise des Dimorphismus Schwierigkeiten entgegen stehen, die durch seine Theorie nicht überwunden werden können; besonders die Verschiedenheit des specifischen Gewichtes dimorpher Substanzen bleibt unerklärbar. Während dasselbe nach seiner Theorie nur in sehr engen Grenzen schwanken dürfte, ist es häufig sehr verschieden, z. B. bei Titansäure, deren specifisches Gewicht nach ihm zwischen 3,7 und 4,16 liegt. Einige Substanzen giebt es sogar, welche in der höher symmetrischen Modification specifisch schwerer sind, als in der weniger symmetrischen, während man das umgekehrte erwarten müsste.

Mallard muss daher zugeben, dass die Verhältnisse nicht so einfach liegen, wie er immer annimmt:

»Il faut donc nécessairement admettre que le phénomène est plus complexe encore que nous ne l'avons supposé; que la variation dans l'arrangement des particules est accompagnée d'un autre phénomène inconnu, mais qui ne peut être qu'une variation dans la particule elle-même . . . .

»Puisque les phénomènes relatifs à la densité nous montrent que les réseaux différents ne peuvent se combiner dans les cristaux à forme-limite qu'en subissant certaines altérations, les propriétés optiques de l'assemblage ne seront pas celles que l'on observerait, si les réseaux se combinaient sans s'altérer.« (p. 166.)

Es wäre interessant, das durch diese Störungen bedingte abweichende optische Verhalten der in der angenommenen Weise »isomorph« gemischten Krystalle zu ermitteln, aber leider seien die optischen Constanten der Primitivformen noch nicht genügend bekannt, um die optischen Eigenschaften der aus ihnen aufgebauten, höher symmetrischen Krystalle mit Genauigkeit im voraus berechnen und gleichsam aus der Differenz der gefundenen und berechneten Werthe die Art und Grösse der Störungen angeben zu können. Übrigens seien die Störungen nur von untergeordneter Bedeutung:

»Il faut remarquer au reste que ces altérations qui accompagnent nécessairement la présence, dans un même cristal, de matériaux non absolument identiques, ne sont qu'un phénomène secondaire, et en quelque sorte de l'ordre des perturbations.« (p. 167.)

Trotz dieser Bedenken hält Mallard seine Annahme aufrecht und fasst das Resultat seiner Untersuchungen wie folgt zusammen:

»Un grand nombre de faits qui paraissaient jusqu'ici sans aucun lien, à savoir, la production de groupements cristallins ne rentrant pas dans la définition de l'hémitropie régulière et semblables à ceux de l'aragonite; les phénomènes designés par M. Scacchi, sous les noms de polysymétrie et de polyédrie; les anomalies optiques signalées par Brewster, étudiées par Biot, rencontrées dans un nombre considérable de substances, et jusqu'ici inexpliquées; enfin la propriété du polymorphisme, ne sont que les conséquences multiples d'un seul fait primordial, celui de l'isomorphisme, c'est-à-dire de la faculté que possèdent des molécules intégrantes, non point identiques, mais peu différentes les unes des autres, d'entrer dans la construction d'un même édifice cristallin.« (p. 170.)

Die hier geschilderten Betrachtungen und Anschauungen führten Mallard weiterhin zu einer Erklärung der Circularpolarisation[1]) in Krystallen.

Bekanntlich hat Reusch (P. A. 138. p. 628) gezeigt, dass man die Erscheinungen einaxiger circularpolarisirender Krystalle mit Hülfe sehr dünner Glimmerblättchen nachahmen kann. Zu diesem Zweck werden Spaltblättchen von zweiaxigem Glimmer, zu deren Oberfläche die erste Mittellinie sehr annähernd senkrecht ist, so über einander geschichtet, dass die Spaltfläche bei allen zwar parallel, die Spur der optischen Axenebene aber bei zwei benachbarten um 120° immer in demselben Sinne gedreht ist. Die von links nach rechts aufsteigenden Combinationen verhalten sich wie rechtsdrehende, die im umgekehrten Sinne über einander geschichteten Platten wie linksdrehende Krystalle, und die Circularpolarisation ist um so vollkommener, je dünner die Platten sind, je gleichmässiger ihre Dicke und je grösser ihre Zahl ist.

Später hat L. Sohncke[1]) das Verhalten solcher Glimmercombinationen gegen paralleles polarisirtes Licht durch Rechnung ermittelt und mit dem des Quarzes verglichen und gefunden, »dass man bei fortgesetzter Verminderung der Blättchendicke zu Combinationen gelangen muss, deren Drehwirkung mit derjenigen des Quarzes und anderer drehender Krystalle qualitativ völlig übereinstimmt«, und hält es hiernach für sehr wahrscheinlich, dass »drehende Krystalle eine Structur analog der Glimmercombination haben«.

Auf Grund dieser Beobachtungen und der daraus gezogenen Schlüsse nimmt nun auch Mallard an, dass die natürlichen circularpolarisirenden Kry-

---

[1]) Sur les propriétés optiques des melanges cristallins de substances isomorphes et sur l'explication de la polarisation rotatoire. A. M. 1881.

[2]) Die Glimmercombination von Reusch und das optische Drehvermögen von Krystallen. P. A. Erg.-Bd. VIII. p. 16—64. 1876. Entwickelung einer Theorie der Krystallstructur. Leipzig 1879. p. 242.

stalle, wie z. B. der Quarz, aus optisch zweiaxigen Lamellen aufgebaut seien. Die sehr dünnen Lamellen müssen normal zur kleinsten oder grössten optischen Elasticitätsaxe sein und sich mit der Richtung der optischen Axenebene unter 120° durchkreuzen. Dies genüge aber noch nicht, es müsse vielmehr noch die weitere Bedingung erfüllt sein, »que le groupement n'acquière pas de centre de symétrie, ce qui enlèverait au groupement la dissymétrie qui permet d'y distinguer une droite et une gauche«; die Lamellen, durch deren Übereinanderlagerung die Circularpolarisation eines Krystalls zu Stande kommt, müssten in sich unsymmetrisch, rechts und links verschieden sein; bei Quarz z. B. könnten sie asymmetrisch sein: »Pour obtenir un cristal ayant la symétrie du quartz, on ne pourrait s'adresser à trois molécules terbinaires superposées en faisant des angles de 120°, car ce groupement, réalisé par les lames de mica de Reusch, donnerait un axe principal sénaire, et une hémiédrie holoaxe sénaire qui ne s'est pas rencontrée dans la nature. Mais on pourrait partir d'une molécule anorthique pseudosénaire ou pseudoternaire. On en grouperait six de telle sorte que les pôles de l'ellipsoïde occupent les positions des six pôles de la forme hémiédrique de quartz, dont trois sont en haut et trois en bas.« (l. c., A. M. 1881. p. 45 des Sep.-Abdr.)

Auf diese Weise, durch Kreuzung von Lamellensystemen unter 120°, soll die Circularpolarisation in Krystallen von hexagonaler Form entstehen. In Krystallen von quadratischer Form müssten acht Lamellensysteme unter 45° sich durchkreuzen, wenn sie circularpolarisirend werden sollen; die Lamellen müssten monoklin sein und die Ebene der optischen Axen einen Winkel von 22° 30′ mit einer der zweizähligen Axen (avec l'un des axes binaires) innerhalb der Lamellen bilden.

In ähnlicher Weise wird die Circularpolarisation der regulären Krystalle erklärt; sie sollen aus doppelbrechenden Lamellen aufgebaut sein.

Wenn die zwillingsartige Verwachsung, welche Circularpolarisation erzeugt, sehr innig und regelmässig ist, so verhalten sich die Krystalle ihrer Form entsprechend, die von hexagonaler und quadratischer Form sind optisch einaxig, die regulären einfachbrechend (jedoch alle circularpolarisirend). Ist aber die Zwillingsverwachsung nicht ganz regelmässig, so treten scheinbare Anomalien auf, die regulären Krystalle[1]) z. B. zeigen neben Circularpolarisation noch Doppelbrechung. An solchen Stellen tritt die wahre Natur, die wirkliche und bleibende Doppelbrechung der den Krystall aufbauenden Lamellen zu Tage, welche sonst durch die Kreuzung derselben verhüllt ist.

Es sind also drei scheinbar von einander ganz unabhängige Eigenschaften — optische Anomalien, Dimorphie und Circularpolarisation —, welche Mallard alle auf eine einzige Ursache zurückführt und durch eine Grund-Annahme erklärt.

---

[1]) E. Mallard, Sur l'isomorphisme des chlorates et des azotates et sur la vraisemblance de la quasi-identité de l'arrangement moléculaire dans toutes les substances cristallisées. Bull. min. VII. p. 349—401. 1884.

Die betreffenden Krystalle bestehen aus Lamellen niederer Symmetrie, nähern sich aber in ihren Dimensionen höher symmetrischen Krystallen, sie besitzen eine Grenzform. Sind die Lamellen alle unter einander parallel, so bilden sie einen einfachen Krystall mit derselben niederen Symmetrie. Die einfachen Krystalle vereinigen sich zu polysynthetischen Zwillingen und bilden, da sie eine Grenzform besitzen, höher symmetrische Formen; das optische Verhalten eines jeden Individuums entspricht aber noch der niederen Symmetrie. Es sind Krystalle, welche wir z. Th. als optisch anomal bezeichnen, die aber nach Mallard's Auffassung die Bezeichung anomal mit Unrecht führen.

Innerhalb eines jeden Individuums können verschieden orientirte Lamellen sich durchkreuzen, »isomorph mischen«, es tritt Compensation der ungleichnamigen Elasticitätsaxen ein und das optische Verhalten entspricht um so mehr der hohen Symmetrie der äusseren Form, je inniger und regelmässiger die Durchkreuzung ist. Werden die Lamellen submikroskopisch dünn, so entstehen bei regelmässigster Durchkreuzung nach Form und optischen Eigenschaften höher symmetrische Krystalle; die Substanz ist dimorph oder polymorph. Viele der »anomalen« Krystalle, Granat, Alaun etc. gehören hierher.

Existirt in dem letzteren Falle für das ganze Gebilde kein Symmetriecentrum, so besitzen die Krystalle von hexagonaler, quadratischer und regulärer Form Circularpolarisation; ist aber ein solches vorhanden, so sind die Krystalle doppelbrechend ohne Circularpolarisation, oder, bei innigster Zwillingsverwachsung, einfachbrechend mit regulärer Form.

Dieser Hypothese Mallard's ist gewiss Einfachheit nicht abzusprechen und es wäre viel gewonnen, wenn sie als bewiesen angesehen werden könnte. In wie weit und wie wenig dies der Fall ist, werden wir im Folgenden sehen.

C. Anhänger und Gegner der Mallard'schen Hypothese.

Die Ansichten Mallard's über die Ursachen der optischen Anomalien fanden Anhänger und Gegner.

Fast zur gleichen Zeit wie Mallard und unabhängig von ihm hatte Grattarola[1]) sich dahin geäussert, dass weder vom philosophischen Standpunkt noch von dem der Erfahrung die Eintheilung der Krystalle in sechs Systeme sich rechtfertigen lasse, dass vielmehr alle Krystalle als triklin betrachtet werden müssten. Diese Arbeit hat mit Recht wenig Berücksichtigung

---

[1]) Dell' unità cristallonomica in mineralogia. Rivista scientifico-industriale di G. Vimercati. Firenze 1877. 39 p.

gefunden, da durch die gebrachten Beispiele jene Behauptung nicht bewiesen wurde und ihr überhaupt die Gründlichkeit und Klarheit der Mallard-schen fehlt.

Als Anhänger der Mallard'schen Hypothese bekennt sich E. Bertrand und begründet seinen Standpunkt etwa wie folgt[1]):

Im parallelen polarisirten Licht zeigt ein anomaler Krystall nicht so regelmässige Auslöschung und scharfe Begrenzung der Felder, wie ein normal doppelbrechender und Zwillinge solcher. Im convergenten Licht zeigt jeder doppelbrechende Krystall eine charakteristische Interferenzfigur. Wenn auch anomale reguläre Krystalle solche Erscheinungen zeigen, so kann man sie doch von den andern unterscheiden, wenn man sie zerbricht; nach dem Zerbrechen sind die Erscheinungen andere.

Bei den wirklich doppelbrechenden Krystallen sind die optischen Eigenschaften in derselben Richtung immer dieselben, bei den anomalen nicht.

Wenn man von diesem Gesichtspunkt aus die pseudoregulären, pseudoquadratischen und -hexagonalen Krystalle prüft, so findet man, dass sie im convergenten Licht Interferenzfiguren geben und durch das Zerbrechen ihr Verhalten nicht ändern.

»Il est donc certain que tous ces cristaux sont de véritables cristaux biréfringents maclés, et non pas des substances monoréfringentes plus ou moins modifiées par des retraits, tensions, ou toute autre cause«.

Dieser Folgerung können wir nicht zustimmen, da die Voraussetzung falsch ist. Man kann z. B. aus Gelatineplatten, die man unter Spannung hat eintrocknen lassen und die hierdurch doppelbrechend geworden sind, beliebige Stücke herausschneiden, ohne dass die Interferenzfigur des übrig bleibenden Theiles sich ändert (vergl. u. a. F. Klocke, N. Jb. 1880, I. p. 86).

Auch G. Wyrouboff ist ein entschiedener Anhänger Mallard's und vertritt in mehreren Arbeiten[2]) durchaus dessen Standpunkt, namentlich stimmt er ihm in der Erklärung der Circularpolarisation zu; alle circularpolarisirenden Krystalle erklärt er als pseudosymmetrisch, »ils sont toujours le produit d'un empilement de lames optiquement biaxes, croisées suivant des lois déterminées«. Wyrouboff begründet diese Behauptung durch die Beobachtung, dass circularpolarisirende Krystalle oft optisch anomal sind. Da wir in derartigen Anomalien nicht immer das Anzeichen niederer Symmetrie erblicken, ist für uns dieser Grund nicht beweisend.

---

[1]) Sur les différences entre les propriétés optiques des corps cristallisés biréfringents, et celles que peuvent présenter les corps monoréfringents, après qu'ils ont été modifiés par des retraits, compressions, dilatations ou toute autre cause. Bull. min. V. p. 3—7. 1882.

[2]) Sur la dispersion tournante de quelques substances orthorhombiques. Bull. min. V. p. 272. 1882. Sur les phénomènes optiques du sulfate de strychnine. Bull. min. VII. p. 10. 1884. Sur les phénomènes optiques de l'hyposulfate de plomb. Ebenda p. 49. Sur les propriétés optiques du benzile et du carbonate de guanidin. Ebenda p. 86. Sur la pseudo-symétrie des hyposulfates hydratés doués du pouvoir rotatoire. Bull. min. VIII. p. 78. 1885. Recherches sur la structure des corps cristallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. 6. Sér. T. VII. p. 340. 1886.

Auf einem etwas andern Wege wie Mallard, besonders durch das Studium der Flächenbeschaffenheit, kommt J. Rumpf bezüglich des Apophyllit[1]) zu dem Schluss:

»Die Krystalle des Apophyllits sind das Resultat sich unzählige Male wiederholender Zwillingsbildungen. Sie werden aufgebaut aus einem Complex von monoklinen Formen.«

Rumpf erklärt den Apophyllit für monoklin, obwohl die Messungen dieser Annahme widersprechen:

Das Parameterverhältniss ist $a : b : c = 1 : 1 : 1,7615$.

»Der wirkliche Winkel $a : c = \eta$, über welchem die Formenausbildung der den Krystall zusammensetzenden Individuen stattfindet, muss nach allen hierauf gezogenen Calcülen grösser als 90° sein, allein der Unterschied ist so gering, dass die Abweichung innerhalb den kleinsten Messungsfehlern zu liegen kommt.«

»Ebenso verlangt der nothwendige Zusammenhang im Zwillingsbaue, dass die Axe $a > b$ ist, ... ein Längenunterschied zwischen Klino- (a) und Orthoaxe (b) ist zwar nothwendig vorhanden, dessen weitere Bestimmung wird aber zufolge seiner Kleinheit durch die Fehlerquellen der gegenwärtigen Messungsmittel um sehr vieles überboten.«

In demselben Bande der »Mittheilungen« veröffentlichte F. Becke[2]) seine Untersuchungen über den Chabasit, welche ihn zur Annahme des triklinen Systems führten:

»Jedes Chabasitrhomboëder besteht im mindesten Falle aus sechs Individuen, die ihren optischen Eigenschaften nach dem triklinen System angehören.« Aber zur Annahme der Mallard'schen Hypothese konnte Becke sich doch nicht entschliessen: »Zur Erklärung der beim Chabasit auftretenden Erscheinungen reichen die bekannten Zwillingsgesetze vollständig aus; man hat nicht nöthig, eine neue Theorie wie Mallard's Hypothese von Isomorphismus verschiedener Stellungen desselben Primitivnetzes herbei zu ziehen.«

Den Auffassungen der beiden zuletzt genannten Forscher schloss sich G. Tschermak an; auf der Versammlung der Deutschen geologischen Gesellschaft im Jahre 1879[3]) machte er den Vorschlag, Krystalle, welche aus Individuen niederen Symmetriegrades polysynthetisch aufgebaut sind und äusserlich höhere Symmetriegrade darbieten, wie Leucit, Chabasit, Apophyllit, Boracit, Perowskit mimetische zu nennen, so dass der Leucit als mimetisch-tesseral, der Chabasit als mimetisch-rhomboëdrisch, der Apophyllit als mimetisch-tetragonal zu bezeichnen wären. Demgemäss führt G. Tschermak noch in der II. Auflage seiner »Mineralogie« den Apophyllit und Chabasit als mimetische Krystalle auf, den ersteren als monoklin, den Chabasit als triklin.

---

1) Über den Krystallbau des Apophyllits. T. M. M. II. p. 369—391. 1880.

2) Über die Zwillingsbildung und die optischen Eigenschaften des Chabasit. T. M. M. II. p. 391—419. 1880.

3) Z. g. G. Bd. 31. p. 637. 1879.

Ein Jeder, der diese Arbeiten prüft, wird zum mindesten zugestehen, dass die Schwierigkeiten nicht so leicht zu überwinden sind, wie die Verfasser glauben, und dass die Richtigkeit der Mallard'schen Hypothese nicht so klar bewiesen wird, dass Zweifel daran nicht aufkommen könnten.

Eine gewisse Bestätigung fanden die Anschauungen Mallard's einzig durch die Versuche von H. Baumhauer[1], welcher auf einige der von Mallard beschriebenen Mineralien, Leucit und Boracit und ausserdem auf Perowskit die Methode der Aetzung anwandte und aus der Form der Aetzfiguren zur Annahme niederer Symmetrie für diese Krystalle geführt wurde. Gerade für diese drei Mineralien müssen wir auch heute noch annehmen, dass sie in dem Zustand, in welchem sie jetzt vorliegen, aus Theilchen von niederer Symmetrie bestehen.

Viel gewichtiger als das, was von diesen und andern Forschern für die Hypothese Mallard's vorgebracht wurde, ist das, was von andern gegen dieselbe geltend gemacht wurde.

F. Klocke, C. Klein, A. Ben-Saude, R. Brauns und Andere haben in zahlreichen Arbeiten darauf hingewiesen, dass in vielen Fällen die optischen Anomalien in ungezwungener Weise durch die Annahme von Spannungen sich erklären lassen, und dass kein Grund vorhanden ist, in jedem Krystall ein aus wenig symmetrischen Individuen aufgebautes Gebilde zu erblicken.

Der Reigen der wichtigsten Abhandlungen wurde durch die von F. Klocke »Über Doppelbrechung regulärer Krystalle«[2]) eröffnet. Die Thatsache, dass einfach- und doppelbrechende Alaune vorkommen, die Beobachtung, dass »die Feldertheilung« der doppelbrechenden Alaune nicht nur von der Zahl der Begrenzungsflächen, sondern auch von der »Verzerrung« abhängt, die weitere Beobachtung, dass die Doppelbrechung durch geeigneten Druck aufgehoben, einfachbrechende Krystalle aber durch Druck doppelbrechend werden, führten F. Klocke dazu, sich den oben mitgetheilten Anschauungen von Marbach und Reusch anzuschliessen, und die Doppelbrechung von Alaun und Bleinitrat auf einen Spannungszustand zurück zu führen.

In einer Reihe bald folgender Abhandlungen[3]) theilte F. Klocke weitere Beobachtungen mit, welche geeignet waren, seine Anschauungen zu bekräftigen.

---

1) Literatur siehe bei den betreffenden Mineralien.

2) N. Jb. 1880, I. p. 53—88.

3) Bemerkungen über optische Anomalien am Thallium- und Selen-Alaun, Barytumnitrat und Eis etc. N. Jb. 1880, I. p. 158. Über ein optisch anomales Verhalten des unterschwefelsauren Blei. N. Jb. 1880, II. p. 97. Über die optische Structur des Gletschereises. N. Jb. 1881, I. p. 24. Über ein optisch analoges Verhalten einiger doppelbrechender regulärer mit optisch zweiaxig erscheinenden tetragonalen Krystallen. N. Jb. 1881, I. p. 204. Nachahmung der Erscheinungen optisch anomaler Krystalle durch gespannte Colloide. Ber. über d. Verhandlgn. der naturf. Ges. zu Freiburg i. B. VIII. 1881. Über die Wirkung eines einseitigen Druckes auf optisch anomale Krystalle von Alaun, Idokras und Apophyllit. Axenbilder im convergenten Licht bei Alaun, Bleinitrat, gepresster Gelatine und rasch gekühltem Glase. Ebenda. Über einige optische Eigenschaften optisch anomaler Krystalle und deren Nachahmung durch gespannte und gepresste Colloide. N. Jb. 1881, II. p. 249—268.

Die dunklen Streifen, welche die im polarisirten Licht hervortretenden Felder trennen und welche nach Mallard's Auffassung als Zwillingsgrenzen zu betrachten sind, sind nicht an den Ort gebunden, sondern wandern bei dem Drehen der Platte über dieselbe hin, und verändern ihre Lage, wenn auf die Platte ein mechanischer Druck ausgeübt wird. In dieser Weise aber verhalten sich niemals Zwillingsgrenzen, wohl aber die unregelmässigen, oft gekrümmten, schwarzen Streifen in gekühlten Gläsern und eingetrockneter Gelatine.

Überhaupt lassen sich die Erscheinungen, welche Alaun zeigt, durch eingetrocknete Gelatineplatten nachahmen, und ebenso wie diese verhalten sich nach der Basis geschnittene Platten von Vesuvian und Apophyllit im parallelen Licht, während sie im convergenten Licht, ebenso wieder wie Gelatineplatten, nach dem Rande zu sich als zweiaxig erweisen. Daher führte F. Klocke die optischen Anomalien dieser Krystalle auf einen Spannungszustand zurück, betrachtete aber die Frage nach der Ursache der Spannungen noch als eine offene. Wir werden sehen, dass die die Doppelbrechung erzeugende Spannung in Alaun und Bleinitrat durch isomorphe Beimischung hervorgerufen wird.

C. Klein hat sich besonders eingehend mit Boracit und später mit Granat und Leucit beschäftigt.

Die Doppelbrechung des Boracit[1]) erklärte er zuerst für eine durch die Art des Wachsthums entstandene Spannungsdoppelbrechung. Man beobachtet nämlich in vielen Boracitkrystallen ein nach den Ebenen des Rhombendodekaëders orientirtes Gerüst, das bei beginnender Verwitterung deutlich sichtbar wird. C. Klein nahm nun an, dass das Gerüst — gleichsam die durch die Kanten des Dodekaëders gehenden Ebenen — zuerst sich gebildet habe und dass die gebliebenen Hohlräume erst allmählich von der Boracitsubstanz ausgefüllt seien. Hierbei habe »die innerhalb des Gerüstes abgelagerte Masse durch die bei ihrer Ausscheidung frei werdende Wärme gegenüber dem Gerüst eine Änderung der Temperatur und in Folge dessen bei der Abkühlung eine verschiedene Contraction« erlitten.

Durch seine Untersuchungen wurde C. Klein dazu geführt, das optische Verhalten des Boracit auch bei höherer Temperatur zu prüfen und hierbei machte er die wichtige Beobachtung, »dass durch Erwärmen der Krystalle scharfe Grenzen, wie verschwommene entstehen und verschwinden, die optischen Felder sich gegen einander verschieben und die einen theilweise oder ganz verschwinden und an ihrer Stelle die andern mit ihren optischen Eigenschaften erscheinen können«. Da ein ähnliches Verhalten von unzweifelhaften Zwillingen nicht bekannt ist, so schien dies Verhalten darauf hinzudeuten, dass die Doppelbrechung durch innere Spannung hervorgerufen werde.

Die Versuche C. Klein's wurden von Mallard bald aufgenommen und weiter geführt. Mit Hülfe der verbesserten Instrumente machte Mallard die Entdeckung, dass die Boracitsubstanz dimorph ist, rhombisch bei gewöhnlicher, regulär bei einer 265° übersteigenden Temperatur.

1) Literatur siehe bei Boracit.

Hiermit war das Räthsel des Boracit im wesentlichen gelöst; die noch bestehenden Meinungsverschiedenheiten zwischen C. Klein und Mallard scheinen uns demgegenüber unwesentlich, sie erklären sich aus der von C. Klein und Andern, wozu ich auch mich rechne, nicht getheilten Grundanschauung Mallard's.

Mallard meint, die Anordnung der Moleküle im Boracitkrystall entspreche der regulären Symmetrie, weil die Form regulär ist; die Moleküle selbst aber besässen rhombische Symmetrie, weil die Krystalle wie rhombische doppelbrechend sind. Die Substanz sei schon im Momente der Entstehung rhombisch, habe aber eine Grenzform von regulärer Symmetrie und daher sei die Form regulär. Durch Erwärmen entstünden in den Krystallen Zwillingslamellen, welche um so zahlreicher werden, je höher die Temperatur steigt. Bei 265° würde die Zwillingsverwachsung eine so innige, dass die Krystalle einfachbrechend werden: »Or, dans les lames de boracite . . . . . nous voyons la chaleur . . . . produire des hémitropies d'autant plus répétées et d'autant plus voisines d'être moléculaires que l'action est plus intense et plus prolongée. Ces hémitropies, si elles devenaient réellement moléculaires, auraient pour résultat de donner à la boracite une symétrie rigoureusement cubique« (Bull. min. V. p. 159).

C. Klein dagegen nimmt an (N. Jb. 1884, I. p. 239), es erfolge ursprünglich eine Bildung der regulären Form unter entsprechender Anordnung der Moleküle. Letztere bleibe bei sinkender Temperatur nicht bestehen; es ändere sich die Gleichgewichtslage unter Bildung einer neuen, der rhombischen.

Die letztere Erklärung scheint mir den Thatsachen besser Rechnung zu tragen, wie die von Mallard.

Wenn wirklich die einfache Lichtbrechung Folge innigster Zwillingsverwachsung wäre, so kann man absolut nicht einsehen, warum sie bei einer constanten Temperatur plötzlich zu Stande kommt, während doch Zwillingslamellen schon vorher in Menge auftreten sollen. Man müsste doch zum mindesten erwarten, dass der Übergang ein allmählicher wäre, dass die Doppelbrechung bei steigender Temperatur und Zunahme der Zwillingsbildung allmählich geringer werde und schliesslich verschwinde. Auch die bei der Umwandlung auftretenden Wärmeerscheinungen würden unerklärt bleiben.

Der von C. Klein gegebenen Erklärung stehen keine derartige Bedenken gegenüber; wenn eine Modification einer dimorphen Substanz in eine andere übergeht, so geschieht dies bei einer constanten Temperatur und unter Wärmewirkung. Dies ist bei Boracit der Fall, wie wir später sehen werden.

Den Arbeiten C. Klein's über den Boracit folgt die über den Granat[1]). Er konnte nachweisen, dass die optische Structur des Granat durchaus von der äusseren Form abhängt, so dass jeder einfachen Form, dem Octaëder, Granatoëder u. s. w. immer ein bestimmtes optisches Verhalten entspricht. Die Octaëder z. B. sind optisch einaxig, auf jeder Fläche ist eine optische

[1]) Literatur siehe bei Granat.

Axe senkrecht, die Granatoëder sind zweiaxig, die erste Mittellinie senkrecht zur Dodekaëderfläche und die Axenebene parallel der langen Rhombendiagonale etc.

Aus dem sehr eingehend untersuchten optischen Verhalten des Granat und dem Nachweis, dass geeignet behandelte Gelatinepräparate sich ähnlich verhalten, schloss C. Klein, dass die Granaten nicht, wie Mallard angenommen hatte, aus triklinen Individuen aufgebaut seien, sondern dass sie durch Spannung doppelbrechend seien:

»Den Vorgang hierbei werden wir uns so denken können, dass beim Act der Krystallisation, in einem kurzen Zeitmoment beim Festwerden, nicht nur eine Contraction der Masse, ähnlich den Colloiden stattfindet, sondern auch die Gestalt des vorhandenen Körpers selbst[1]) einen Einfluss auf diese Contraction geltend macht, der auf einer gegebenen Fläche, nach Art ihrer Umgrenzungselemente, nach dem auf sie wirkenden Druck, nach Temperatur und Concentration der Lösung verschieden, differente Effecte äussern wird und gleiche nur unter gleichbleibenden Bedingungen erzeugt. Die den Anforderungen des regulären Systems entsprechende Molekularanordnung wird aber unter dem Einfluss dieser bei der Krystallisation noch mitwirkenden Factoren nicht erhalten werden können; Änderungen derselben werden vielmehr eintreten müssen, Vertheilungen der Masse, die Zustände herbeiführen, ähnlich denen in anisotropen Körpern, woselbst dieselben durch die Wirkung der Moleküle auf einander gesetzmässig zu Stande kommen« (N. Jb. 1883, I. p. 160).

R. Brauns[2]) hat es später als sehr wahrscheinlich hingestellt, dass die Doppelbrechung des Granat, bez. die die Doppelbrechung erzeugende Spannung eine Folge der isomorphen Beimischung dieser Krystalle ist. Es gelang ihm nämlich nachzuweisen, dass die Krystalle von reinem Alaun, reinem Blei- und Baryumnitrat immer einfachbrechend sind, aber doppelbrechend werden, sobald sie isomorphe Beimischung enthalten; und durch Herstellung von verschiedenartigen isomorphen Mischungen[3]) und isomorphen Überwachsungen mehrerer Alaunarten konnte R. Brauns alle für den Granat als charakteristisch geltenden Erscheinungen in Alaunkrystallen beliebig hervorrufen, und da die Granaten ebenso isomorphe Mischkrystalle bilden, wie die Alaune, so ist es so gut wie sicher, dass auch bei ihnen die isomorphe Beimischung die Doppelbrechung hervorruft. Wir werden später bei Besprechung der durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle hierauf zurückkommen.

Das letzte von C. Klein untersuchte anomale Mineral ist der Leucit[4]). Die Doppelbrechung desselben fand ihre Erklärung durch Entdeckung der

---

[1]) »Zu diesem Ende muss angenommen werden, es haben sich ein oder einige Körperchen, ausgerüstet mit einer regelmässigen Form, bereits gebildet.«

[2]) Über die Ursache der anomalen Doppelbrechung einiger regulär krystallisirender Salze. N. Jb. 1883, II. p. 102—111.

[3]) Einige Beobachtungen und Bemerkungen zur Beurtheilung optisch anomaler Krystalle. N. Jb. 1885, I. p. 96—118.

[4]) Literatur siehe bei Leucit.

Dimorphie der Leucitsubstanz, welche bei hoher Temperatur regulär, bei gewöhnlicher aber rhombisch ist. Die zahlreichen, nach den Flächen des Dodekaëders eingelagerten Zwillingslamellen sind nach Ansicht von H. Rosenbusch[1]) entstanden durch die Verschiebung von Krystalltheilen nach den als Gleitflächen anzusehenden Rhombendodekaëderflächen.

In derselben Richtung wie C. Klein arbeiteten seine Schüler. A. Ben-Saude untersuchte den Analcim[2]) und konnte dessen Verhalten durch gegossene und wenig eingetrocknete Gelatinemodelle nachahmen und schloss hieraus und aus der Beobachtung, dass die optische Structur mit dem Wechsel der äusseren Begrenzung sich ändert, dass die Doppelbrechung Spannungsdoppelbrechung sei. Seine Beobachtungen wurden durch Stadtländer[2]) vermehrt und bestätigt.

Zu demselben Resultat kam Ben-Saude bezüglich des Perowskit[3]): derselbe krystallisire regulär und die Doppelbrechung sei durch Änderungen der ursprünglichen Gleichgewichtslagen beim Wachsthum der Krystalle hervorgerufen. Jedoch wendete schon G. Tschermak[4]) hiergegen ein, dass die Doppelbrechung durch diese Annahme nicht genügend erklärt sei, dass die regulären Formen vielmehr als mimetische zu betrachten und aus Individuen niederen Symmetriegrades regelmässig zusammengesetzt seien. Auch heute kann man für die Doppelbrechung des Perowskit noch keine befriedigende Erklärung geben.

Ausser den bisher genannten deutschen Forschern haben viele andere über optisch anomale Krystalle Arbeiten geliefert und zur Kenntniss derselben nicht unwesentlich beigetragen. Wir erwähnen sie hier nicht, weil wir nur einen Überblick über die weitere Entwicklung der Frage geben wollen. Bei Besprechung der einzelnen Mineralien finden sie ihren Platz.

Von den französischen Forschern trägt namentlich Jannettaz[5]) Bedenken, der Mallard'schen Auffassung sich anzuschliessen. Er betont mit Recht, dass man Aragonit, Witherit etc., auch wenn sie in der Form höhere Symmetrie nachahmen, doch auf optischem Wege, aus den ausgezeichneten Interferenzbildern etc., sofort als weniger symmetrisch erkennen könne, nicht aber die anomalen Krystalle. In der Beurtheilung dieser schliesst er sich vielmehr der Annahme von Reusch und Klocke an, welche ihm um so begründeter schien, als er zeigen konnte, dass Alaunkrystalle, die unter Druck in einem Siphon zur Ausscheidung gekommen waren, doppelbrechend waren. Hierbei spricht er die beherzigenswerthen Worte aus (Bull. min. III, p. 24):

»Il ne me paraît pas utile de compliquer ce qui est simple, d'attribuer au réseau d'un cristal octaédrique d'alun, régulier dans sa forme et dans ses

1) Literatur siehe bei Leucit.
2) Literatur siehe bei Analcim.
3) Literatur siehe bei Perowskit.
4) T. M. M. V. p. 194—196.
5) Note sur les phénomènes optiques de l'alun comprimé. Bull. min. II. p. 191. 1879; ferner Bull. min. III. p. 20—24. 1880, IX. p. 73. 1886 und Literatur bei Diamant und Pyromorphit.

propriétés physiques, une symétrie différente de celle du système cubique. Si quelques cristaux agissent sur la lumière, ceux-là sont accidentellement irréguliers.«

Auf die zahlreichen Einwürfe, die in den nur zum Theil erwähnten Arbeiten gegen die Mallard'sche Hypothese erhoben worden sind, hat Mallard wiederholt [1]), am ausführlichsten und zuletzt im IX. Band des »Bulletin« geantwortet; auf diese letzte Schrift beziehen sich die folgenden Bemerkungen.

Mallard hält unter allen Umständen und in jedem einzelnen Falle seine Hypothese, für die er den Namen einer Theorie in Anspruch nimmt, aufrecht und sucht alle Einwände zu entkräften. Hierbei begegnet es ihm aber, dass er Behauptungen aufstellt, die sich durch das Experiment widerlegen lassen, und dass er sich in Widersprüche verwickelt, welche die Unsicherheit und Willkür seiner Annahmen erst recht klar machen.

Mallard wendet sich gegen die Annahme von Spannungen und bestreitet überhaupt die Möglichkeit, dass Krystalle in einem Spannungszustand sich befinden oder in einen solchen versetzt werden können. Amorphe Körper, z. B. Glas, könnten durch schnelle Kühlung gespannt werden, ebenso behandelte Krystalle aber würden springen oder zu Zwillingen werden, niemals aber in einen Spannungszustand kommen: »C'est donc une hypothèse pure, invraisemblable d'ailleurs et contraire à tous les faits connus, que d'imaginer dans un corps cristallisé un équilibre anomal analogue à celui qu'on observe dans les corps colloïdes trempés.«

Dem gegenüber konnte R. Brauns nachweisen [2]), dass Steinsalz, Sylvin und auch Flussspath durch schnelle Kühlung ebenso doppelbrechend werden wie gekühlte Gläser.

Wollte man aber innere Spannungen als möglich gelten lassen, so müssten, meint Mallard, in jedem Punkt des betreffenden Körpers die Spannungen dieselben sein und es wäre nicht möglich, dass in einer Ebene Felder verschiedener Orientirung zusammenstossen; dies wäre nur bei Zwillingen der Fall.

Diese Ansicht wird widerlegt durch das Verhalten eingetrockneter Gelatineplatten mit regelmässigem Umriss, welche je nach der Zahl der äusseren Flächen in vier, sechs oder mehr oder weniger Felder zerfallen, ganz ebenso wie z. B. Alaun.

Mallard wendet weiterhin gegen die Annahme von Spannungen ein, dass sie die Constanz der optischen Eigenschaften einer Substanz nicht er-

---

[1]) Sur les cristaux à forme limite. Bull. min. I. p. 107. 1878. Sur les propriétés optiques des mélanges de substances isomorphes et sur les anomalies optiques des cristaux. Bull. min. III. p. 3—20. 1880. Sur la théorie des phénomènes produits par des croisements de lames cristallines et par des mélanges de corps isomorphes. Bull. min. V. p. 71—79. 1881. Sur les hypothèses diverses proposées pour expliquer les anomalies optiques des cristaux. Bull. min. IX. p. 54—73. 1886. Les groupements cristallins. Revue scientifique des 30. juillet et 6. août 1887. Weitere Arbeiten von Mallard über Boracit, Prehnit, Tridymit etc. bei diesen.

[2]) Zur Frage der optischen Anomalien. N. Jb. 1887, I. p. 47—57.

klären könne und keinen Grund dafür angeben könne, warum z. B. die Krystalle des Alaun aus vier optisch einaxigen Individuen beständen.

Hierzu ist zu bemerken, dass die optischen Eigenschaften einer anomalen Substanz gar nicht immer constant sind, sondern nur bei gleicher Krystallform; alsdann sind sie aber nicht nur bei derselben, sondern auch bei verschiedenen Substanzen dieselben, und umgekehrt, sie sind bei derselben Substanz verschieden, wenn die äussere Form verschieden ist. Das ist ja gerade charakteristisch für die von Mallard citirten Substanzen, Alaun und Granat, dass ihr optisches Verhalten von der Krystallform abhängt. C. Klein hat dies für Granat ganz ausdrücklich betont, und dasselbe werden wir bei Alaun und Bleinitrat wieder finden. Dies Verhalten spricht aber für die Annahme innerer, nach der Form orientirter Spannungen, nicht für die Mallard'sche Hypothese.

Wenn daher Mallard sagt: »Je suis donc en droit de dire que ces hypothèses sont toutes impuissantes à donner des faits une véritable et complète explication«, so müssen wir hiergegen erwidern, dass die Gründe nicht stichhaltig sind, und wir darum nach wie vor an der Möglichkeit innerer Spannungen festhalten.

Nicht glücklicher ist Mallard bei dem Versuch, die von seinen Gegnern gemachten Beobachtungen mit seiner Hypothese in Einklang zu bringen.

Indem Mallard die Beobachtung von R. Brauns (N. Jb. 1883, II, p. 102) bespricht, wonach die Krystalle von Alaun und Bleinitrat nur doppelbrechend sind, wenn sie isomorphe Beimischung enthalten, meint er: »Je suis disposé à l'admettre dans un assez grand nombre de cas et pour le mettre d'accord avec ma théorie, il suffira d'admettre que le mélange des substances isomorphes influe sur la production des groupements cristallins.« Dies ist nicht wesentlich verschieden von dem, was R. Brauns angenommen hatte, »dass das optisch anomale Verhalten der Mischkrystalle auf eine gegenseitige Beeinflussung der verschiedenartigen, in denselben neben einander liegenden Moleküle zurückzuführen ist«. Nichts desto weniger bemerkt Mallard gegen die letztere Annahme: »De semblables actions sont absolument hypothétiques et, si elles existaient, il nous serait tout à fait impossible de dire quels phénomènes elles produiraient. L'existence de ces actions n'est-elle pas d'ailleurs suffisamment contredite par l'exemple de substances qui, formées de mélanges isomorphes, ne montrent aucune trace de phénomènes optiques anomaux.«

Wir stossen hier auf einen offenbaren Widerspruch. Eine Annahme wird einmal als zulässig, bald darauf als »absolument hypothétique« bezeichnet.

Bei anderen Gelegenheiten hat Mallard gerade das, was er hier bestreitet, dass in isomorphen Mischkrystallen durch die Verschiedenheit der Substanzen Störungen der optischen Eigenschaften bewirkt werden können, nicht nur als möglich, sondern sogar als nothwendig hingestellt — als es sich darum handelte, einige seiner Hypothese widersprechende Thatsachen zu erklären.

Schon bei Besprechung der ersten Abhandlung Mallard's (p. 41) haben wir auf die betreffenden Stellen hingewiesen und wir brauchen sie hier nur zu wiederholen: »Puisque les phénomènes relatifs à la densité nous montrent que les réseaux différents ne peuvent se combiner dans les cristaux à forme-limite qu'en subissant certaines altérations, les propriétés optiques de l'assemblage ne seront pas celles que l'on observerait si les réseaux se combinaient sans s'altérer . . . . . Il faut remarquer au reste que ces altérations qui accompagnent nécessairement la présence, dans un même cristal, de matériaux non absolument identiques, ne sont qu'un phénomène secondaire, et en quelque sorte de l'ordre des perturbations.« Ähnlich äussert sich Mallard an anderen Stellen, wo er die optischen Eigenschaften isomorpher Mischungen behandelt (z. B. Bull. min. IV. p. 78. 1881; A. M. 1881, p. 56 d. Sep.), und etwas anderes, als er hier zugiebt, ist von gegnerischer Seite niemals behauptet worden; seine Einwände gegen diese Annahme lassen sich somit durch seine eigenen Worte widerlegen. Dass in manchen isomorphen Mischungen, z. B. in den triklinen Feldspathen, die optischen Eigenschaften keine Störungen zeigen, ist von Niemandem bestritten worden.

Wenn nun Mallard nach seinen Ausführungen zu dem Schluss kommt: »Tout nous conduit donc à rejeter absolument l'hypothèse des tensions intérieures cristallines, qui sont impuissantes à expliquer les faits, dont la non-existence dans les cristaux est, dans beaucoup de cas, péremptoirement démontrée et auxquelles il paraît impossible d'assigner une cause vraisemblable«, so werden wir uns nicht durch diese Worte und die noch so oft wiederholte Behauptung, dass seine Hypothese die einzig richtige sei, überzeugen, sondern werden uns durch die Thatsachen leiten lassen, welche uns zeigen, dass Spannung und hierdurch erzeugte Doppelbrechung allerdings in Krystallen möglich ist.

Mallard bleibt also durchweg auf seinem früheren Standpunkt stehen. Optische Anomalien giebt es für ihn nicht, das optische Verhalten ist für ihn immer der Ausdruck der wahren Symmetrie der Krystalle: »c'est toujours celle qui présentera la moindre symétrie qui dira la vérité«. Wenn eine Substanz, z. B. Alaun, Granat, in einfach- und doppelbrechenden Krystallen vorkommt, so ist sie dimorph, z. B. Alaun hexagonal und regulär; und um diese eigenthümliche Art von Dimorphie zu erklären, bleibt er bei seiner früheren Annahme, die reguläre Form und einfache Lichtbrechung käme zu Stande durch submikroskopische Zwillingsverwachsung der weniger symmetrischen, bei Alaun der hexagonalen Form.

»En résumé, je crois pouvoir dire que la théorie développée par moi il y a dix ans, pour expliquer les prétendues anomalies optiques de cristaux et que j'avais appuyée sur des faits nombreux, a reçu, de la discussion à laquelle elle a donné naissance et de travaux nombreux qu'elle a provoqués, une décisive confirmation.« Dies der Standpunkt von Mallard.

Während von den deutschen Forschern C. Klein[1]) Mallard gegenüber

[1]) Beleuchtung und Zurückweisung einiger gegen die Lehre von den optischen Anomalien erhobenen Einwendungen. N. Jb. 1887, I. p. 223—246. Auch: Festrede, gehalten am 4. Juni 1886. Göttingen.

an seinen früher skizzirten Anschauungen im wesentlichen festhält, und er sowohl wie R. Brauns[1]) die Meinung vertreten, dass die optischen Anomalien nicht alle durch die Mallard'sche Hypothese zu erklären, vielmehr Spannungen und hierdurch hervorgerufene optische Anomalien in Krystallen möglich sind, scheint P. Groth mehr und mehr der Mallard'schen Hypothese zuzuneigen.

Indem P. Groth[2]) die beiden Erklärungsversuche, die Annahme von Spannungen und die Mallard'sche Hypothese gegenüberstellt, sagt er, dass für die Entstehung von Spannungen in einfachen Krystallen noch keinerlei Erklärung vorliege. Allerdings könnten amorphe Körper, wie z. B. Gelatine beim Eintrocknen, Contractionen erleiden, und unter dem Einfluss der dadurch erzeugten Spannung ähnliche optische Eigenschaften, wie sie die sogenannten anomalen Krystalle zeigen, vorübergehend oder dauernd annehmen. Es scheine jedoch fraglich, ob die an amorphen Körpern gemachten Erfahrungen über die Wirkungen mechanischer Kräfte ohne weiteres auf krystallisirte Medien angewendet werden dürfen, da jene ohne Zweifel unregelmässige Aggregate, sei es der einzelnen Moleküle, sei es sehr kleiner krystallinischer Partikel, in beliebiger gegenseitiger Orientirung darstellen, und die Moleküle eines solchen Aggregates sich daher sämmtlich oder wenigstens zum Theil nicht in denjenigen Lagen zu einander befinden, welche dem stabilsten Gleichgewicht der zwischen ihnen wirkenden Kräfte entspricht.

Dagegen würden sich alle Erscheinungen, welche die optisch anomalen Krystalle zeigen, vollständig durch die Hypothese Mallard's erklären lassen, dessen Ausführungen er sich in allen Einzelheiten anschliesst. Namentlich folgt er ihm in der Erklärung der Dimorphie[3]) bei solchen Körpern, welche zwei verschiedenen Krystallsystemen angehören, aber in ihren Winkeln, Cohäsionsverhältnissen u. s. w. einander sehr nahe stehen (Feldspathe, Pyroxene, Valentinit und Claudetit u. a.): »In diesem Falle zeigt nämlich stets die weniger symmetrische Form Zwillingsbildungen, welche bei polysynthetischer Wiederholung die äussere Form der höher symmetrischen Form hervorbringen (Pseudosymmetrie, Mimesie). Werden die in Zwillingsstellung befindlichen Lamellen eines solchen Aufbaues so fein, dass sie sich der Beobachtung entziehen, so resultirt die höher symmetrische Form, welche also anscheinend auch durch Übergänge mit der ersten verknüpft sein kann (wie es z. B. der Fall ist bei Mikroklin und Orthoklas, zwei Mineralien, welche factisch nicht zu trennen sind, da eine Partie desselben Krystalls als Orthoklas, eine andere als Mikroklin bezeichnet werden müsste). Durch Temperaturänderung kann

---

[1]) Zur Frage der optischen Anomalien. N. Jb. 1887, I. p. 47—57. Was wissen wir über die Ursachen der optischen Anomalien? Verhandl. d. niederrh. Ges. Bonn. 1887. p. 510—537.

[2]) Über die Molekularbeschaffenheit der Krystalle. Festrede in d. k. b. Akad. d. Wiss. München 28. III. 1888.

[3]) Tabellarische Übersicht der Mineralien. 3. Aufl. 1889. p. 3.

eine Umlagerung der Moleküle in Zwillingsstellung und daher auch eine Überführung der einen in die andere der beiden Formen bewirkt werden.«

Man sieht, Groth ist ganz Mallard, und was wir oben an verschiedenen Stellen über die Ansichten Mallard's und die denselben entgegenstehenden Bedenken gesagt haben, gilt auch hier.

Auf anderer Seite (Beckenkamp[1]) hat man sich durch asymmetrische, an Baryt, Aragonit etc. beobachtete Aetzfiguren zu der Annahme verleiten lassen, dass die Moleküle dieser Mineralien asymmetrisch seien, ihre Anordnung im Raume aber nach der Symmetrie des rhombischen Systems erfolge. Würde man in dieser Weise die Form der Aetzfiguren unter allen Umständen als ausschlaggebend ansehen, so würde es bald dahin kommen, dass man nur noch asymmetrische Krystalle kennt. Ich halte es aber doch mit F. Becke[2]) für wahrscheinlich, dass in allen diesen Fällen »eine Verzerrung vorliegt, hervorgebracht durch Störungen im Aufbau des Krystalls, die mit der Art seines Wachsthums (Tektonik) zusammenhängen.« Jedenfalls sind bis jetzt die Angaben von Beckenkamp viel zu knapp, als dass man aus ihnen so allgemein gültige Schlüsse ziehen könnte.

Nachdem wir in den vorhergehenden Abschnitten die Entwicklung der Lehre von den optischen Anomalien verfolgt haben, ist es unsere weitere Aufgabe, die Anomalien der Krystalle selbst zu beschreiben und sie, wenn möglich, auf eine bestimmte Ursache zurück zu führen. Die Sicherheit, mit welcher dies letztere geschehen kann, ist verschieden bei den künstlich darzustellenden Krystallen und den Mineralien. Bei den ersteren können wir die Bedingungen, unter welchen die Bildung der Krystalle stattfindet, nach mancher Richtung hin beliebig ändern und aus den gesammelten Erfahrungen einen Schluss ziehen, welche Bedingungen der Bildung optisch anomaler Krystalle günstig sind, welche nicht. Bei den Mineralien dagegen sind wir häufig auf Analogieschlüsse angewiesen, welche leicht zu Fehlschlüssen werden können, um so mehr als ähnliche Anomalien durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden können. Ich bin weit davon entfernt zu behaupten, dass ich in jedem Falle die Ursache der Anomalie richtig erkannt habe; ein Jeder soll prüfen und urtheilen. Aber ich glaube doch, dass in den meisten Fällen das Richtige getroffen ist.

1) Die Anomalien der Krystalle. Beilage zum XIII. Jahresbericht der Mittelschule zu Mühlhausen i. E. Juli 1889.

2) T. M. M. XI. p. 254. 1890.

Zweiter Theil.

I. Optische Anomalien durch Kreuzung von verschieden orientirten Lamellen.

Literatur.

1. E. Reusch. Über Glimmercombinationen. P. A. 138. p. 628. 1869.
2. L. Sohncke. Die Glimmercombinationen von Reusch und das optische Drehvermögen von Krystallen. P. A. Erg.-Bd. VIII. p. 16—64. 1876.
3. —— Entwicklung einer Theorie der Krystallstructur. 1879.
4. Mallard. Anom. opt. 1876.
5. —— Sur les propriétés optiques des mélanges de substances isomorphes et sur les anomalies optiques des cristaux. Bull. min. III. p. 3—20. 1880.
6. —— Sur la théorie des phénomènes produits par des croisements de lames cristallines et par des mélanges de corps isomorphes. Bull. min. IV. p. 71—79. 1881.
7. —— Sur les proprietés optiques des mélanges cristallins de substances isomorphes et sur l'explication de la polarisation rotatoire. A. M. 1881.
8. —— Les groupements cristallins. Revue scientifique des 30. juillet et 6. août 1887.
9. G. Wyrouboff. Recherches sur la structure des corps cristallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. 6. Sér. T. VIII. p. 340—417. 1886.

Den wesentlichen Inhalt der genannten Abhandlungen haben wir bereits oben (p. 42) besprochen.

E. Reusch hat gezeigt, dass man durch Kreuzung von zweiaxigen Glimmerblättchen die Interferenzerscheinungen einaxiger Krystalle mit oder ohne Circularpolarisation nachahmen kann. Das Verhalten der Glimmercombinationen im parallelen und convergenten polarisirten Licht entspricht vollkommen dem einaxiger Krystalle, wenn die Blättchen unendlich dünn und nach bestimmten Gesetzen regelmässig gekreuzt sind. Wenn dies aber nicht der Fall ist, wenn die Lamellen vielmehr verschieden dick und nicht in regelmässigem Wechsel gekreuzt sind, so verhalten sich die Combinationen verschieden; an manchen Stellen scheinen sie einaxig, an andern geben sie gestörte Interferenzbilder und die Erscheinungen gleichen mehr oder weniger denen zweiaxiger Krystalle.

Ähnlich verhalten sich anomale Krystalle. Mallard betrachtet sie daher als natürliche Combinationen wenig symmetrischer Lamellen und erblickt

überhaupt die Ursache aller optischen Anomalien in einer Durchkreuzung verschieden orientirter Lamellen. Wir haben auf die Bedenken, welche dieser Annahme in ihrer Allgemeinheit entgegenstehen, hingewiesen. In einigen Fällen aber lassen sich in der That die optischen Anomalien auf eine derartige Durchkreuzung zurückführen. Wir haben diese im Folgenden zu besprechen.

Am klarsten liegen die Verhältnisse bei Ferrocyankali und Autunit, complicirt sind sie bei Prehnit. Natrolith haben wir aufgenommen, weil bei ihm der Wechsel der Orientirung nicht nur durch Vertausch zweier nahezu gleicher Axen, sondern auch durch Verwachsung nach einem bekannten Zwillingsgesetz zu Stande kommend gedacht werden kann. Man kann daher sein Verhalten kaum mehr als ein anomales, gesetzwidriges bezeichnen.

Ferrocyankali.

Literatur.

1. D. Brewster. Phil. Trans. 1818, I. p. 222. 223. 230.
2. —— Memoirs of the Wernerian natural history society. Vol. III. p. 53. 1812.
3. J. Grailich. Krystallographisch-optische Untersuchungen 1858. p. 129—133.
4. A. Des Cloizeaux. P. A. 126. p. 413. 1865.
5. —— Nouv. rech. p. 17. 1867.
6. G. Wyrouboff. A. Chim. 4. Sér. T. XVI. p. 293—301. 1869.
7. E. Mallard, Anom. opt. p. 120. 1876.
8. R. Brauns. Einige Beobachtungen und Bemerkungen zur Beurtheilung optisch anomaler Krystalle. N. Jb. 1885, I. p. 114—116.

Die Krystalle von Ferrocyankali haben sehr annähernd quadratische Symmetrie und wurden deswegen, trotz des unregelmässigen optischen Verhaltens, lange Zeit für quadratisch gehalten.

Allerdings hatte schon Brewster die Zweiaxigkeit erkannt und das Ferrocyankali mit Natrolith, schwefelsaurer Magnesia u. a. unter den zweiaxigen Krystallen mit »right quadrangular prism with a square base« angeführt, auch die Grösse des optischen Axenwinkels »the inclination of the resultant axes« = 19° 34′ angegeben, aber später wurden die Krystalle doch wieder zu dem quadratischen System gerechnet.

Erst Wyrouboff (6) hat mit Erfolg nachgewiesen, dass die Krystalle von Ferrocyankali nur als monoklin betrachtet werden können.

Einfache, homogene Krystalle bekommt man im Ganzen selten, meist bestehen die Krystalle aus vielen, nicht parallel verwachsenen Individuen. Wyrouboff hat einfache Krystalle aus einer Lösung gezogen, welche chromsaures Kali und Ferrocyankali in gleichen Theilen enthielt, ich habe die meinigen aus reiner Lösung gezogen. Zu diesem Zweck habe ich von reinem Ferrocyankali soviel in heissem Wasser gelöst, dass die erkaltete Lösung für gewöhnliche Zimmertemperatur ein wenig übersättigt war. Die Abkühlung und Verdunstung regelt man zweckmässig dadurch, dass man die Öffnung

der Krystallisationsschale mit Filtrirpapier und dieses mit einer Glasscheibe bedeckt. Die Dämpfe condensiren sich an dem Glas, und die Verdunstung und Abkühlung werden verlangsamt. Wenn die Unterfläche der Scheibe mit dicken Tropfen bedeckt ist, wendet man sie vorsichtig um und wiederholt dies so oft wie nöthig. Diese von Scacchi an Wyrouboff empfohlene Methode (6, p. 286) giebt überhaupt bei Substanzen, welche Neigung zur Bildung von Krystallaggregaten haben, gute Resultate.

Auf diese Weise habe ich viele einfache und zusammengesetzte Krystalle von Ferrocyankali bekommen und konnte an ersteren die Form und z. Th. die optischen Eigenschaften bestimmen, an letzteren die Art der Verwachsung sehr gut verfolgen.

Einfache Krystalle.

Die einfachen Krystalle sind selten über 6 mm lang und breit und über 1 mm dick, die meisten sind 2—3 mm lang und breit und entsprechend dünn. Sie sind begrenzt von $g = \infty R\infty$ (010), $m = \infty P$ (110) und $e = R\infty$ (011). Der Fläche g geht der ausgezeichnete Blätterbruch parallel, sie entspricht bei quadratischer Auffassung der Basis; m und e würden das Grundoctaëder bilden. Zu diesen nie fehlenden Flächen tritt sehr häufig $x = 2R2$ (121), bei quadratischer Auffassung die Hälfte des nächsten stumpferen Octaëders, ferner a und $o = \pm P\infty$ (101), welche beide zusammen das quadratische Prisma der zweiten Stellung bilden würden (vergl. Taf. I, Fig. 3, Copie nach Wyrouboff).

Der monokline Habitus der Form wird besonders durch x bewirkt; fehlt x, so ist der Umriss der Krystalle quadratisch oder rechteckig, durch x wird er sechsseitig; die beiden andern Flächen, welche mit x zusammen das quadratische nächste stumpfere Octaëder bilden würden, und durch deren Auftreten der Umriss achtseitig werden würde, habe ich nie beobachtet. Die achteckigen Tafeln bestehen aus mehreren Individuen.

An gut spiegelnden Flächen einfacher Krystalle habe ich gemessen:

$$m : g = 111^\circ\,32'\,30''$$
$$e : g = 111^\circ\,43'\;\;0''$$
$$m : e = \;\;97^\circ\,49'\,30''.$$

Hieraus berechnet man:

$$a : b : c = 0{,}3947 : 1 : 0{,}3983;$$
$$\beta = 90^\circ\,1'.$$

Wyrouboff giebt für jene Winkel folgende Werthe an:

$$m : g = 111^\circ\,34'$$
$$e : g = 111^\circ\,51'$$
$$m : e = \;\;—$$

und berechnet aus andern gemessenen Winkeln ($m : m = 136^\circ 53'$, $e : e = 136^\circ 19'$, $a : e = 131^\circ 10'$) das Axenverhältniss:

$$a : b : c = 0{,}401 : 1 : 0{,}395;$$
$$\beta = 89^\circ 27'.$$

Hierin ist offenbar a und c verwechselt worden, denn die Winkel ergeben $a = 0{,}395$ und $c = 0{,}401$, so dass es also heissen muss:

$$a : b : c = 0{,}395 : 1 : 0{,}401,$$
$$\beta = 89^\circ 27'.$$

Aus diesen wie aus den von mir gefundenen Werthen sieht man, dass die Krystalle in ihren Dimensionen quadratischer Symmetrie ausserordentlich sich nähern.

Die Pyramide x liegt über dem spitzen Winkel, sie ist demnach eine hintere, nicht eine vordere Hemipyramide; in der Figur 4 ist dies berücksichtigt.

Das optische Verhalten der einfachen Krystalle ist für die Annahme des monoklinen Systems entscheidend. Die durch g tafeligen Krystalle werden im parallelen polarisirten Licht einheitlich hell und löschen gleichmässig aus, ohne Störungen zu zeigen. Wegen der gekreuzten Dispersion tritt vollkommene Auslöschung nur in homogenem Lichte ein.

Die Auslöschungsrichtung ist weder einer Diagonale noch einer Kante parallel; nach Wyrouboff weicht sie gegen die Diagonale um $12^\circ 54'$, gegen die Kante g/m um $57^\circ 37'$ ab. Nach meinen Beobachtungen sind die Werthe für verschiedene Platten nicht constant, was vielleicht daher rühren mag, dass selbst schon in den scheinbar ganz homogenen Platten dünne Lamellen von anderer Orientirung eingeschaltet sind, wodurch die Werthe geringer werden. An einer guten Platte habe ich als Mittelwerthe für die Auslöschungsschiefe gegen die Kante g/m gefunden:

für rothes Glas	$34^\circ 39'$	($34^\circ 30'$—$34^\circ 58'$)
- Na-Licht	$33^\circ 40'$	($33^\circ 30'$—$33^\circ 50'$)
- blaues Glas	$32^\circ\ 0'$	($31^\circ 43'$—$32^\circ 32'$).

Die Werthe sind nicht genau, weil man die Platte in der Dunkelstellung um einen erheblichen Betrag drehen kann, ehe man Beginn von Aufhellung bemerkt.

Die gekreuzte Dispersion erkennt man am besten im convergenten Licht in der Kreuzstellung des Interferenzbildes. Der die Axenpunkte verbindende Balken war bei meinen Platten links oben und rechts unten blau, links unten und rechts oben gelb gesäumt.

Der Axenwinkel ist gross, $2E = 120^\circ$ für Na-Licht; nach Wyrouboff ist $2H = 112^\circ 50'$ (roth), $112^\circ 23'$ (grün), $112^\circ 21'$ (blau).

Die Ebene der optischen Axen ist gegen die Kante g/x gerichtet und bildet mit dieser gegen e hin einen stumpfen, gegen m einen spitzen Winkel, dessen Werth für Na-Licht aus der obigen Auslöschungsschiefe, bei Vernach-

lässigung der Axenschiefe zu 101° 20′ oder 78° 40′ sich ergiebt. In Figur 4 ist die optische Orientirung, die Richtung der optischen Axenebene, angegeben.

Die Prüfung mit einem Gypsblättchen oder Quarzkeil ergiebt, dass innerhalb der Plattenebene die grösste optische Elasticitätsaxe in die Ebene der optischen Axen fällt, die zur Plattenebene normale erste Mittellinie ist Axe der kleinsten Elasticität, der optische Charakter demnach positiv.

Die Aetzfiguren[1]) auf dem Klinopinakoid deuten, wie die äussere Form, auf quadratische Symmetrie. Dies ist nicht auffallend, da die Form und Lage der Aetzfiguren auf einer Krystallfläche der Symmetrie dieser Fläche entspricht. Das Klinopinakoid bei Ferrocyankali hat aber sehr annähernd die Symmetrie der Basis eines quadratischen Krystalls, die Aetzfiguren haben dieselbe Symmetrie, ihre Form würde ebenso wenig wie die äussere Form der Krystalle zur Annahme des monoklinen Systems geführt haben; die optischen Eigenschaften allein führen hier auf den richtigen Weg. Auch die Schlagfiguren[2]) entsprechen der Symmetrie des quadratischen Systems.

Zusammengesetzte Krystalle.

Zusammengesetzte Krystalle sind bei weitem häufiger als einfache, ihr Verhalten ist schon von Grailich (3) recht genau beschrieben worden. Er giebt an, dass die Spaltblättchen durch ein schwarzes, den quadratischen Umrissen paralleles Kreuz in vier lebhaft polarisirende Felder getheilt werden, und dass die Felder gleichzeitig auslöschen, wenn die Randkanten Winkel von ungefähr 30° bez. 60° mit den Schwingungsrichtungen der Nicols bilden. Im convergenten Licht beobachtete er die Zweiaxigkeit und das Schwanken des Axenwinkels. Als bemerkenswerth hebt Grailich hervor, dass die diagonalen Eckfelder optisch gleichartig, die benachbarten aber entgegengesetzt seien, die einen optisch positiv, die andern negativ.

Wyrouboff fand, dass in den seitlich benachbarten Eckfeldern die Ebene der optischen Axen zu einander normal ist, und er erklärte das Verhalten der Krystalle durch die Annahme, dass nach Art der Glimmercombinationen eine Verwachsung mit senkrechter Durchkreuzung der optischen Axenebenen stattgefunden habe, eine Annahme, welcher E. Mallard und R. Brauns sich angeschlossen haben.

Nach meinen Beobachtungen kann ich die Angaben jener nur bestätigen.

Der Umriss der immer nach $g = \infty P\!\!\!\!\backslash\infty$ (010) tafeligen Krystalle ist vierseitig oder achtseitig. Im parallelen polarisirten Licht erscheinen sie durch ein dunkles Kreuz, dessen Arme leicht gewellt oder auch stärker hin und her gebogen sind und im allgemeinen den langen Randkanten parallel laufen,

[1]) v. Kobell. Über Asterismus und die Brewster'schen Lichtfiguren. K. Akademie der Wissensch. München 1862. — H. Baumhauer. Über die Ätzfiguren und Erscheinungen des Asterismus an Krystallen. P. A. 140. p. 271. 1870.

[2]) O. Mügge. Beiträge zur Kenntniss der Cohäsionsverhältnisse einiger Mineralien. N. Jb. 1884, I. p. 58.

in vier Felder getheilt. Die relative Grösse der Felder ist sehr verschieden, bald sind alle vier ziemlich gleich gross, bald zwei diagonal gegenüberliegende grösser wie die andern, bald herrscht nur eins vor, kurzum man findet kaum zwei zusammengesetzte Krystalle mit völlig gleicher Feldertheilung.

Von den Armen des schwarzen Kreuzes steigen die Farben nach den Seiten hin in schmalen Streifen allmählich auf, und es folgen Grau, Weiss, Gelb, Roth I. Ordnung, Blau-Roth II. bis zu den Farben der IV. Ordnung bei kaum 1 mm dicken Blättchen.

Die Auslöschung tritt für alle Felder zu gleicher Zeit ein und erfolgt, wenn die langen Kanten einen Winkel von etwa 34° bez. 56°, bei Tageslicht gemessen, mit den Schwingungsrichtungen der Nicols bilden. Die Auslöschungsrichtungen in den Feldern sind noch weniger constant, wie in den einfachen Krystallen, offenbar weil hier mehr Lamellen von anderer Orientirung eingewachsen sind.

Die Untersuchung im convergenten Licht bestätigt die Beobachtung von Wyrouboff, dass in zwei seitlich benachbarten Feldern die optischen Axenebenen senkrecht zu einander sind. Wenn man das Präparat verschiebt, so sieht man sehr schön, wie die Richtung sich ändert. Die Mitte eines jeden Feldes giebt ein deutliches Interferenzbild eines zweiaxigen Krystalls mit grossem Axenwinkel; die Bilder werden unregelmässig, wenn man sich den benachbarten Feldern nähert, und an der Grenze zweier Felder erscheinen die an einaxige Krystalle erinnernden Interferenzfiguren. Jenseits der Grenze bekommt man wieder ein regelmässiges Interferenzbild, aber die Ebene der optischen Axen ist nun senkrecht zu der im ersten Feld.

Die Ebene der optischen Axen ist in jedem Feld diagonal gerichtet, fällt aber nicht genau in die Diagonale, sondern weicht etwa 11° hiervon ab und ist immer so orientirt (Fig. 5), dass die in dem einen Feld senkrecht ist zu der im seitlich benachbarten, und parallel zu der im diagonal gegenüber liegenden Feld. Hierdurch erklärt sich von selbst die Beobachtung von Grailich betreffend den im parallelen Licht erkannten optisch verschiedenen Charakter der benachbarten Felder.

Tritt an den Krystallen die Fläche x auf, so wird der Umriss achtseitig: die optische Orientirung ergiebt sich aus Fig. 6.

Nach diesem Verhalten der Krystalle kann es keinem Zweifel unterworfen sein, dass sie aus mehreren Individuen zusammengesetzt sind. Wollen wir die Art der Verwachsung zu erklären versuchen, so müssen wir vor allem im Auge behalten, dass die optischen Axenebenen in zwei seitlich benachbarten Individuen unter 90° gekreuzt sind. Dies auf eins der allgemein angenommenen Zwillingsgesetze zurück zu führen, ist mir nicht gelungen.

Wollte man z. B. annehmen, die Individuen seien nach der Querfläche $\infty P\infty$ (100) zwillingsartig verwachsen, so würden die Auslöschungsrichtungen oder die optischen Axenebenen in zwei benachbarten einen Winkel von 68° mit einander bilden müssen, was in den beschriebenen Krystallen nicht der Fall ist.

Solche Verwachsungen kommen indessen vor und sind leicht von den andern zu unterscheiden. Wenn das eine Individuum in der Auslöschungslage sich befindet, ist das andere hell und wird erst nach einer Drehung von etwa 22° dunkel. Die Auslöschung erfolgt links und rechts symmetrisch zur Zwillingsgrenze, die Ebenen der optischen Axen stossen an ihr in einem Winkel von 68° zusammen. Das Verhalten entspricht genau dem eines Zwillings nach der Querfläche. An der Zwillingsgrenze überlagern sich beide Individuen in einem mehr oder weniger breiten Streifen, und diese Stellen werden in keiner Lage dunkel, zeigen auch im convergenten Licht keine deutlichen Erscheinungen. Im Ganzen ist diese Zwillingsbildung selten.

Die oben beschriebenen, viel häufigeren Verwachsungen sind in anderer Weise zu erklären. Wir haben gesehen, dass der Axenwinkel β sehr annähernd gleich 90° ist und die Axen a und c nur sehr wenig von einander verschieden sind; die Dimensionen nach der einen Richtung sind fast genau dieselben wie nach der darauf senkrechten; beide Richtungen finden wir in den zusammengesetzten Krystallen mit einander vertauscht, die Axe a und c des einen fällt mit c und a des andern zusammen, oder mit andern Worten: Beide Individuen haben das Klinopinakoid gemeinschaftlich, und das eine ist um die Symmetrieaxe gegen das andere um fast genau 90° gedreht. Eine Fläche *m* des einen fällt fast genau in das Niveau einer Fläche *e* des andern Individuums, beide bilden eine einzige Fläche. Die Individuen wachsen an einander oder sie durchdringen sich und da ihre optischen Axenebenen gekreuzt sind, so nähert sich ihr optisches Verhalten um so mehr dem quadratischer Krystalle, je inniger sie sich durchdringen und je häufiger verschieden orientirte Lamellen mit einander abwechseln.

Das optische Verhalten der zusammengesetzten Krystalle des Ferrocyankali ist zu vergleichen mit dem der Glimmercombinationen bei rechtwinkliger Kreuzung der optischen Axenebenen. Es ist das beste mir bekannte Beispiel für die Mallard'sche Theorie von der Durchdringung isomorpher Raumgitter.

Autunit (Kalkuranglimmer).

Literatur.

1. A. Madelung. Z. Kr. VIII. p. 75.
2. A. Brezina. Über den Autunit. Z. Kr. III. p. 273—278. 1879.

Der Autunit krystallisirt in dünnen Blättchen von anscheinend quadratischem Umriss, welche nach den Mittheilungen von A. Brezina im polarisirten Licht sich nicht über ihre ganze Ausdehnung hin gleichmässig verhalten; ein grosser Theil eines jeden Krystalls erscheint in allen Lagen dunkel, während die andern Theile deutlich auf das polarisirte Licht wirken. In jedem Krystallblättchen sind die anscheinend einfachbrechenden Partien so mit doppelbrechenden vermischt, dass immer nur kleine Fleckchen die eine oder andere Erscheinung zeigen, und die Krystalle in der Hellstellung ein feinfleckiges

Aussehen bieten; die doppelbrechenden Partien sind entweder alle von gleicher oder von verschiedener, aber anscheinend gegen eine der Axen oder Kanten symmetrischer Orientirung.

Dies Verhalten ist auf eine durch Kreuzung von Lamellen entstandene Compensation zurückzuführen.

Die Krystalle sind nämlich monoklin oder triklin mit pseudotetragonaler Symmetrie. Ebenso wie die von Ferrocyankali sind sie dünn tafelig durch Vorherrschen des Klinopinakoids $b = \infty R\infty$ (010); zwei schmale Pinakoide a und c, die als $\infty P\infty$ (100) und $0P$ (001) angenommen werden, schneiden sich unter annähernd 90°, und ihre Kante wird durch eine Fläche $d = P\infty$ (101) beinahe gerade abgestumpft.

Das Axenverhältnis ist:

$$a : b : c = 0{,}3463 : 1 : 0{,}3525;$$
$$\beta = 90^\circ\, 30'.$$

Die Auslöschungsrichtungen auf der vorherrschenden Fläche $b = \infty R\infty$ (010) sind annähernd parallel und senkrecht zu den Kanten mit a (Auslöschungsschiefe etwa 4° 40′) und c, also nicht diagonal wie bei Ferrocyankali.

Der Winkel der optischen Axen schwankt ziemlich stark, Des Cloizeaux fand in einem Blättchen $2E = 59^\circ\, 46'$, in einem andern $= 60^\circ\, 57'$ (vergl. bei Brezina). Dispersion $\varrho > v$. Die kleinste optische Elasticitätsaxe innerhalb der Plattenebene fällt in die Ebene der optischen Axen, die erste Mittellinie ist grösste optische Elasticitätsaxe, der optische Charakter daher negativ.

Das Zustandekommen der Compensation kann nach Brezina durch Zwillingsbildung nach $d = P\infty$ (101) erklärt werden; Verwachsungsfläche würde das Klinopinakoid sein. Da auf dem Klinopinakoid die Spur der optischen Axenebene annähernd parallel einer Kante (a), diese aber fast senkrecht zur andern Kante (c) ist, und die von beiden gebildete Ecke durch die Spur der Zwillingsfläche, wenn sie als Krystallfläche auftritt, nahezu gerade abgestumpft wird, so kommen in den zu einem Zwilling verbundenen Individuen gleichnamige Elasticitätsaxen fast normal zu einander zu liegen. Da ferner die Individuen nicht nur aneinander wachsen, sondern auch sich innig durchdringen, so wird »an den Stellen, wo Partikel des einen Individuums allein oder in weitaus überwiegender Menge vorhanden sind, Doppelbrechung zu beobachten sein; wo aber Zwillingspartikel nach einer nahe 45° gegen die Hauptschwingungsrichtungen geneigten Zwillingsebene in gleicher Menge mit dem Hauptindividuum wechsellagern, tritt die Compensation, also im parallelen Licht anscheinende Einfachbrechung auf«.

An einem Präparat von Autunit konnte ich die hier beschriebene Verwachsung kennen lernen. Der Krystall schien aus vielen mit einander parallel verwachsenen Blättchen von quadratischem Umriss zu bestehen; im polarisirten Licht untersucht, zeigte er sich durch eine schwarze, unregelmässig zackige Linie in zwei ziemlich homogene Theile getheilt, welche beide gleichzeitig auslöschten. In der Auslöschungslage waren feine, einer äusseren Kante parallel laufende, graue Streifen zu bemerken, die eine etwas andere,

schwankende Auslöschung hatten. Schaltete man bei Hellstellung der Platte ein Gypsblättchen vom Roth I. Ordnung ein, so sah man, dass die vorher schwarze, jetzt rothe Linie die Grenze von entgegengesetzt orientirten Theilen war; der eine Theil wurde gelb, der andere blau, in beiden waren also gleichnamige optische Elasticitätsaxen gekreuzt (vergl. Taf. I, Fig. 6 *a*) und an der Grenze in Folge dessen Compensation eingetreten.

Im convergenten Licht konnte man sich leicht davon überzeugen, dass die Ebene der optischen Axen in dem einen Theil senkrecht war zu der im andern Theil. An der Grenze der beiden Felder waren die Erscheinungen sehr unregelmässig, an einzelnen kleinen Stellen näherte sich das Interferenzbild sehr dem einaxiger Krystalle, das schwarze Kreuz öffnete sich kaum bei dem Drehen, es wurde nur etwas verschwommen.

Das Verhalten des Autunit hat die grösste Ähnlichkeit mit dem von Ferrocyankali, in beiden Fällen beruhen die Störungen auf der Kreuzung gleichnamiger optischer Elasticitätsaxen und mehr oder weniger inniger Durchdringung der gekreuzten Lamellen.

Bei Ferrocyankali konnten wir die Verwachsung nur durch die Annahme erklären, dass die beiden fast gleichen Axen *a* und *c* mit einander vertauscht sind; dieselbe Annahme würden wir auch hier machen können.

Die beiden Axen *a* und *c* sind nur sehr wenig verschieden ($a = 0{,}3463$, $c = 0{,}3525$), der Umriss der Blättchen ist fast genau quadratisch, wie bei Ferrocyankali. Denken wir uns ein Blättchen um die Symmetrieaxe gegen das andere so gedreht, dass die Axe *a* des einen in die Richtung von *c* des andern fällt, so würde die Basis des einen mit der Querfläche des andern zusammenfallen, die optischen Axenebenen in beiden würden gekreuzt sein. Das Blättchen in der einen Stellung würde nach Mallard's Auffassung mit dem der andern Stellung isomorph sein, und beide würden beliebig sich mischen können.

Ob diese oder Brezina's Annahme richtig ist, kann durch optische Untersuchung entschieden werden. Verwachsen die Blättchen zwillingsartig nach $d = P\infty$ (101), so werden die gleichnamigen optischen Elasticitätsaxen in ihnen unter einem Winkel von etwa 100° zusammenstossen; wenn aber das eine Individuum gegen das andere um die Symmetrieaxe in der angegebenen Weise gedreht ist, werden sie unter etwa $90\frac{1}{2}$° sich durchkreuzen. Im letzteren Fall würden beide Individuen fast genau gleichzeitig auslöschen, im ersteren Fall würde die Auslöschungslage des einen Individuums um etwa 10° von der des andern abweichen.

Meine Beobachtung an dem mir zur Verfügung stehenden Präparat zeigt, dass beide Individuen gleichzeitig auslöschen, folglich ist die letztere Annahme vorzuziehen. Die Verwachsung bei Autunit würde demnach in derselben Weise zu erklären sein wie die von Ferrocyankali; bei beiden können die lamellaren Individuen so mit einander verwachsen, dass die nahezu gleichen Axen *a* und *c* in dem einen Lamellensystem die Lage von *c* und *a* in dem andern Lamellensystem haben.

Den Kupferuranglimmer, welchen Madelung (1) ebenfalls als zweiaxig anführt, habe ich durchaus homogen und normal einaxig gefunden.

Ekdemit (Heliophyllit).

Literatur.

A. Hamberg. Optische Anomalien des Ekdemit (Heliophyllit) von Harstigen. Referat im N. Jb. 1890, II. p. 227.

Das von G. Flink[1]) unter dem Namen Heliophyllit beschriebene Mineral ist nach den Untersuchungen von Hamberg mit Ekdemit identisch. Die chemische Zusammensetzung beider zeigt nur ganz unerhebliche Verschiedenheiten und kann durch die Formel $Pb_4As_2O_7 + 2PbCl_2$ oder auch nach Hamberg durch $Pb_9As_4O_{15} + 4PbCl_2$ ausgedrückt werden. Das Mineral bildet schwefelgelbe Blättchen von der Härte 2; der Ekdemit wurde für einaxig-quadratisch gehalten und der Heliophyllit durch Flink von ihm getrennt, weil er als zweiaxig erkannt ward. Die Untersuchungen von Hamberg, durch welche die Identität beider nachgewiesen wurde, theilen wir nach dem Wortlaut des Referates mit:

»Erneute optische Prüfung des von G. Flink als optisch zweiaxig beschriebenen Heliophyllit ergab, dass derselbe immer aus zweiaxigen und einaxigen Partien zusammengesetzt ist. Verfasser unterscheidet zwei Typen:

»1) grossblättriger Heliophyllit von Harstigen: In Schliffen parallel der Spaltfläche durchkreuzen sich abwechselnd isotrope (einaxige) und doppelbrechende (zweiaxige), wenig scharf begrenzte Lamellen in zwei auf einander senkrechten Richtungen. Die zweiaxigen Theile löschen alle gleichzeitig aus; ihre Axenebenen liegen im allgemeinen parallel ihrer Längserstreckung senkrecht auf der Spaltfläche und sind in zwei auf einander senkrechten Richtungen orientirt. Unter der Annahme, dass die Spaltbarkeit ‖ $0P$ (001) und die zweiaxigen Theile rhombisch sind, würden dieselben sich nach einem Prisma von 90° unter einander verzwillingt zeigen.

»2) Krystalle von Harstigen, von Baryt und Inesit überwachsen. Sie sind spitzpyramidal, zeigen manchmal $0P$ (001). Der Winkel (001) : (111) schwankt zwischen 52° und 58° und ergiebt sich nach den besten Messungen zu 52°—54°. Schliffe nach $0P$ (001), der Spaltfläche, zeigen in isotrope (einaxige) Theile doppelbrechende (zweiaxige) nach mehreren verschiedenen Richtungen eingelagert. Wenn die Kanten der quadratischen Platte nach $0P$ (001) als Mittelkanten des Octaëders angesehen werden, sind die zweiaxigen Lamellen parallel den Flächen (100), (010), (210), $(2\bar{1}0)$, (120), $(1\bar{2}0)$ eingelagert, und zwar so, dass die Lamellen nach (100), (210), $(2\bar{1}0)$ parallele Axenebenen, und ebenso die nach (010), (120), $(1\bar{2}0)$ eingeschalteten Theile unter sich parallele, gegen die ersteren um 90° gedrehte Axenebenen haben. Die zwei Systeme der optisch zweiaxigen Lamellen erscheinen also auch hier mit einander nach einem rhombischen Prisma von 90° verzwillingt.

---

[1]) N. Jb. 1890, I. p. 23 der Referate.

»Der von Nordenskjöld als optisch einaxig betrachtete Ekdemit von Långban zeigt sich in Schliffen senkrecht zur optischen Axe auch nicht durchgängig homogen. Die wenig deutlichen eingelagerten zweiaxigen Theile erinnern an obigen Typus 2. .... (Der Verfasser) fasst sowohl den Heliophyllit wie das von Nordenskjöld als rhombisch beschriebene ekdemitähnliche Mineral mit dem Ekdemit zusammen und betrachtet diesen als das ursprüngliche homogene, tetragonale Mineral. Die optischen Unregelmässigkeiten, welche man jetzt immer in dem Ekdemit beobachten kann, dürfte man secundären, wahrscheinlich durch einen allseitigen Druck hervorgerufenen Umlagerungen zuschreiben können.«

Obwohl ich das Mineral und sein optisches Verhalten nicht aus eigener Anschauung kenne, möchte ich doch aus der Beschreibung schliessen, dass hier ähnliche Verhältnisse wie bei Ferrocyankali und Autunit vorliegen; dass das Mineral zweiaxig-rhombisch ist, in seinen Dimensionen aber quadratischer Symmetrie sich sehr nähert; dass die entsprechenden Richtungen in dem einen System gegen die im andern um 90° gedreht sind und die in dieser Weise gekreuzten Blättchen sich vielfach überlagern. Da, wo dieses geschieht, compensiren sich die ungleichnamigen optischen Elasticitätsaxen, und das optische Verhalten nähert sich um so mehr dem einaxiger Krystalle, je dünner die Blättchen sind und je öfter sie sich kreuzen.

Natrolith.

Literatur.

C. Stadtländer, Beiträge zur Kenntniss der am Stempel bei Marburg vorkommenden Mineralien: Analcim, Natrolith und Phillipsit. Diss. Göttingen 1885. N. Jb. 1885, II. p. 113—122.

Schon das äussere Aussehen des vom Stempel bei Marburg stammenden Natrolith lässt auf eine eigenthümliche Verwachsung schliessen. Die Prismenflächen sind windschief, die Krystalle durch hypoparallele Anwachsung zahlreicher kleiner Individuen an dem einen Ende dicker als an dem andern und, was besonders bemerkenswerth ist, die an den Enden der c-Axe befindlichen Pyramiden sind um 90° gegen einander verdreht, so dass die an dem einen Ende die stumpfere Polkante, die an dem anderen Ende die schärfere Polkante dem Beschauer zuwendet. Diese Verdrehung gleicht sich in der Prismenzone dadurch aus, dass jede Prismenkante allmählich von dem stumpfen Winkel (91°) an dem einen Ende in den spitzen (89°) am andern Ende übergeht, so dass ungefähr in der Mitte des ganzen Prismas ein quadratischer Querschnitt vorhanden ist.

A. von Koenen[1], welcher zuerst den Natrolith vom Stempel beschrieben und die eigenthümliche Verwachsung erkannt hat, hat angenommen, dass eine

[1] Sitz.-Ber. der Ges. z. Beförderg. der ges. Naturwiss zu Marburg. Juni 1874.

Zwillingsbildung derart vorliege, dass die beiden dem Aggregate zu Grunde liegenden Hauptindividuen bei gemeinsamer Verticalaxe um 90° gegen einander gedreht sind, d. h. die Horizontalaxen vertauschen.

Diese Annahme würde ganz der Mallard'schen Anschauungsweise entsprechen. Der Prismawinkel ist sehr annähernd 91°, die beiden Horizontalaxen sind demnach fast gleich ($a:b:c = 0{,}97856:1:0{,}35363$ nach Brögger Z. Kr. III. p. 479), und würden ihre Lagen vertauschen können. Die Raumgitter würden bald den stumpfen, bald den spitzen Winkel nach vorne wenden, und die einen mit den andern nach Mallard's Auffassung isomorph sein.

Nach Stadtländer kann die Verwachsung auch anders erklärt werden: »Zwillingsaxe die Normale auf $\infty P(110)$, Zusammensetzungsfläche die Basis, Umdrehungswinkel 180°«. Hierbei fallen die Verticalaxen der beiden zum Zwilling vereinigten Individuen zusammen, während die Horizontalaxen derselben, bei Annahme des Prismawinkels zu 91° resp. 89°, entsprechend (d. h. $a:\underline{a}$, $b:\underline{b}$, unter 91° resp. 89° zu einander geneigt sind. Hierin liegt der Unterschied dieser Verwachsung von der von A. von Koenen angenommenen, nach welcher die beiden Horizontalaxen einfach vertauscht und genau rechtwinklig zu einander sein würden. Welche von beiden Annahmen richtig ist, lässt sich wegen der Beschaffenheit der Krystalle nicht entscheiden.

In den einfachen Krystallen ist die Ebene der optischen Axen ac, und die erste Mittellinie, von positivem Charakter, fällt mit der Verticalaxe zusammen. In den Zwillingen muss daher Kreuzung der optischen Axenebenen stattfinden. Die beiden zur ersten Mittellinie normalen Elasticitätsaxen compensiren sich gegenseitig durch Kreuzung und werden um so mehr einander gleich, je öfter sie sich kreuzen. Der optische Effect ist der, dass der optische Axenwinkel immer kleiner wird und unter Umständen gleich Null werden kann.

Die Beobachtung bestätigt dies. Platten senkrecht zur Verticalaxe sind einheitlich, wenn sie der Spitze entnommen sind, zeigen dagegen Aggregatpolarisation, wenn sie aus der Mitte der Krystalle geschnitten sind. Die ersteren sind normal zweiaxig, in den andern sind die optischen Axenebenen gekreuzt, und der Axenwinkel wird mit der Annäherung an das Centrum immer kleiner. Die Aggregatpolarisation deutet darauf hin, dass die Individuen ziemlich unregelmässig in einander greifen, was man schon nach dem Aussehen der Krystalle vermuthen kann und durch Schliffe parallel der Verticalaxe bestätigt findet.

Ein solcher der Mitte eines Krystalls entnommener Schliff zerfällt in vier, im Centrum zusammenstossende Felder (vergl. Taf. I, Fig. 7, nach Stadtländer), von denen zwei von den Prismenflächen, die beiden andern von den Enden ausgehen. Die ersteren zeigen Aggregatpolarisation, die andern verhalten sich einheitlicher, aber von einander etwas verschieden. In demjenigen Feld, welches der makrodiagonalen Polkante anliegt, tritt die Auslöschung nahezu gleichmässig für die ganze Fläche ein, sobald die Verbindungslinie des Krystallmittelpunktes und des betreffenden Poles mit einem Nicolhauptschnitt

zusammenfällt. Bei dem gegenüberliegenden Felde jedoch (dem unteren in der Abbildung), welches den brachydiagonal geschnittenen Theil des Zwillings enthält, ist eine einheitliche Auslöschung nicht vorhanden; vielmehr treten verschieden orientirte Partien auf, welche entweder einen allmählichen Übergang zwischen den Orientirungen der am meisten divergirenden Streifen darbieten, oder durch scharfe Grenzen getrennt sind. Die Auslöschung der seitlichen Theile kann dann bis zu 10° von der nach *c* erfolgenden Auslöschung eines Mittelstreifens abweichen.

Dies Verhalten könnte nach Stadtländer, dessen Beschreibung wir immer gefolgt sind, vielleicht durch Zwillingsbildung nach der Querfläche des dann als monoklin anzusehenden Natrolith erklärt werden, sie beruht aber wohl auf hypoparalleler Verwachsung rhombischer Individuen.

Die gewendete Lage der Pyramidenflächen an dem oberen und unteren Ende und das optische Verhalten des Natrolith vom Stempel ist, wie wir gesehen haben, durch zwei verschiedene Annahmen zu erklären versucht worden; nach der einen würden in den mit einander verwachsenen Individuen die nahezu gleichen Horizontalaxen vertauscht sein, nach der andern würde die Verwachsung auf eins der allgemein angenommenen Zwillingsgesetze zurückgeführt werden können. Diese beiden Annahmen sind darum möglich, weil die Ebene der optischen Axen in eine der beiden verticalen Symmetrieebenen fällt, und der Prismawinkel nur wenig von 90° abweicht; sie sind aber nicht identisch und daher nur eine von beiden richtig. Ist die erste Annahme richtig, so müssten die optischen Axenebenen genau unter 90° sich durchkreuzen, ist die andere Annahme richtig, so würden sie nur annähernd unter 90° sich durchkreuzen können. Die Entscheidung, welche von beiden Annahmen richtig ist, lässt sich wegen der Beschaffenheit der hypoparallel verwachsenen Krystalle nicht erbringen. Wollen wir aus der Analogie mit den vorher betrachteten Substanzen einen Schluss ziehen, so würden wir uns für die erstere, von A. von Koenen gemachte Annahme entscheiden. Dann wäre Natrolith eine weitere Substanz, deren Krystalle nach der Mallardschen Theorie verwachsen sind.

Prehnit.

Literatur.

1. A. Des Cloizeaux. Manuel de Minéralogie. I. p. 431. 1862 und Nouv. rech. p. 86.

2. —— Note sur l'existence anomale de la dispersion tournante dans un cristal du système orthorhombique. Bull. min. V. p. 58—60. 1882.

3. E. Mallard. Propriétés optiques de la Prehnite d'Arendal. Bull. min. V. p. 70—71. 1882.

4. A. Des Cloizeaux. Nouvelles observations sur divers échantillons de Prehnite. Bull. min. V. p. 125—130. 1882.

5. E. Mallard. Sur les anomalies optiques de la Prehnite. Bull. min. V. p. 195—213. 1882.

6. A. Beutell. Über Prehnit von Striegau und Jordansmuhl in Schlesien. N. Jb. 1887, I. p. 89—94.
7. H. B. von Foullon. Über den Prehnit aus dem Floitenthale. Verhandlgn. der k. k. geol. Reichs-Anst. 1889. No. 10. p. 197—201. Referat im N. Jb. 1890, II. p. 379.

Die Krystalle des Prehnit sind in der Regel begrenzt von $m = \infty P(110)$, $g = \infty \breve{P}\infty$ (110) und $p = 0P(001)$; hierzu tritt bisweilen noch $h = \infty \bar{P}\infty$ (100) und ein Makrodoma, welches A. Streng[1]) als $\frac{3}{4}\bar{P}\infty$, Des Cloizeaux-Mallard als $\bar{P}\infty$ annehmen.

Das Axenverhältniss ist nach Des Cloizeaux-Mallard (5. p. 198):

(1) $$a : b : c = 7657 : 6432 : 646$$

oder, wenn man die grössere Axe als b bezeichnet und von links nach rechts gehen lässt:

(2) $$a : b : c = 6432 : 7657 : 646\,.$$

Dividirt man durch 7657, damit $b = 1$ wird, so bekommen wir:

(3) $$a : b : c = 0{,}8400 : 1 : 0{,}8438\,,$$

was sich von dem von A. Streng ermittelten Axenverhältniss:

(4) $$a : b : c = 0{,}8401 : 1 : 1{,}1253$$

nur deshalb unterscheidet, weil das Orthodoma als $\bar{P}\infty$, nicht, wie von A. Streng, als $\frac{3}{4}\bar{P}\infty$ angenommen ist. Da in dem ersteren Axenverhältniss (3) die Ähnlichkeit der Axen a und c, welche bei der Erklärung der optischen Anomalien von Wichtigkeit ist, ohne weiteres hervortritt, wollen wir es hier beibehalten.

Die Krystalle lassen sich mit ziemlicher Leichtigkeit nach der Basis spalten, die Spaltblättchen geben im convergenten Licht das Interferenzbild.

Die erste Mittellinie ist senkrecht zur Spaltfläche, ihr optischer Charakter positiv. Die Ebene der optischen Axen ist $a\,c$, der Winkel derselben gross, die Dispersion schwach, $\varrho > v$.

Nach Des Cloizeaux ist

$$2E = 123^\circ\text{—}129^\circ \quad \text{(Manuel, p. 431)}$$
$$\beta = 1{,}626 \quad \text{(4. p. 127)}$$
$$2V = 65{,}4^\circ\text{—}67{,}4^\circ \quad \text{(5. p. 195)}.$$

Nach Beutell (6) ist für den Prehnit von Jordansmühl:

$$2H = \ 77^\circ 41' \text{ r. } \ 77^\circ 44' \text{ Na. } \ 77^\circ 53' \text{ bl.}$$
$$2E = 135^\circ 16' \ \text{ - } \ 135^\circ 26' \ \text{ - } \ 135^\circ 54' \ \text{ - }$$

Eine Ausnahmestellung nehmen nach Des Cloizeaux (4. p. 128) die Prehnitkrystalle von Barèges (sog. Koupholith) ein, indem bei ihnen das vorherrschende Pinakoid senkrecht zur zweiten, negativen Mittellinie ist.

1) N. Jb. 1870, I. p. 316.

Optisch anomale Prehnitkrystalle sind im ganzen selten; es sind solche beschrieben von Farmington in Connecticut (1. 2. 5), Arendal (3), vom Cap (4) und von Striegau (6). Ich hatte keine Gelegenheit solche Krystalle zu untersuchen, muss mich daher darauf beschränken, die Beschreibung und Erklärung der genannten Forscher kurz wiederzugeben. Als Beispiel diene der am genauesten untersuchte Prehnit von Farmington, dessen Anomalien Des Cloizeaux schon 1862 theilweise beschrieben hat.

Ein Blättchen parallel der Basis ist an dem aufgewachsenen Ende unregelmässig, nach den Seiten und nach oben regelmässig begrenzt, meist fünfseitig durch $g = \infty\breve{P}\infty$ (010), $m = \infty P$ (110), $h = \infty\bar{P}\infty$ (100).

Im polarisirten Licht zerfällt es in drei Theile, rechts und links je ein breites, an g und m anliegendes Feld, in der Mitte ein keilförmiger, von h ausgehender Zwickel, der gegen die Seitenfelder unregelmässig abgegrenzt ist (vergl. Taf. I, Fig. 8).

Die Seitenfelder verhalten sich gleich, aber verschieden von dem Zwickel.

Der Zwickel erweist sich im parallelen polarisirten Licht aus verschiedenfarbigen Streifen bestehend, von denen die ausgeprägtesten mit h parallel gehen, während die andern senkrecht zu h sind. Die Auslöschung erfolgt genau parallel und senkrecht zur Kante mit h.

Das Verhalten im convergenten Licht ist besonders auffallend: der Axenwinkel ist immer klein, der Charakter der ersten Mittellinie positiv, die optische Axenebene bald parallel, bald senkrecht zu h, die Dispersion stark. In einer von Mallard untersuchten Platte (5) war im Zwickel in der Nähe von h der Axenwinkel sehr klein, die Axenebene für roth senkrecht zu h, für blau parallel h. Mehr nach dem Innern zu war die Axenebene für alle Farben parallel h, der wahre Axenwinkel für roth 9°,8, für blau ungefähr 13°, also $\varrho < v$.

In einer andern Platte war die Axenebene für alle Farben normal zu h, aber $\varrho > v$.

Dies Verhalten erklärt Mallard durch die Annahme, dass in dem Zwickel Lamellen, welche senkrecht zur ersten, positiven Mittellinie sind, mit solchen senkrecht zur zweiten, negativen Mittellinie abwechseln, die ersteren nennt er positive, die andern negative Lamellen. Diese Annahme stützt sich auf die in den Axenlängen a und c zum Ausdruck kommende Ähnlichkeit der beiden auf einander senkrechten Dimensionen der Molekularnetze, beide können sich nach Mallard's Auffassung isomorph mischen, das eine (h) ist gegen das andere (p) um die Axe b um 90° gedreht. Da nun h senkrecht zur zweiten, p senkrecht zur ersten Mittellinie ist, d. h. die Axenebene in beiden dieselbe Richtung hat, so findet in den gekreuzten Lamellen keine Kreuzung gleichnamiger optischer Elasticitätsaxen statt, es tritt daher keine Compensation, sondern etwas anderes ein.

Wie Mallard in einer früheren Abhandlung[1]) gezeigt hat, können die

[1]) Sur la théorie des phénomènes produits par des croisements de lames cristallines etc. Bull. min. IV. p. 71—79. A. M. 7. Sér. XIX. 1881.

optischen Eigenschaften eines Packets von Krystallblättchen in ähnlicher Weise aus der Form eines Ellipsoids abgeleitet werden, wie die der einfachen Krystallplatte aus der Form des Elasticitätsellipsoids. Wir wollen seine für das Verhalten des Zwickels gegebene Erklärung hier verfolgen und entnehmen die Darstellung dem ausführlichen und genauen Referat in der Zeitschrift für Krystallographie, IX. p. 587:

In Figur 9, Taf. I stellen die Abscissen die Zahlen dar, welche angeben, in welchem Verhältniss die Gesammtdicke der negativen Lamellen steht zu derjenigen der positiven, und zwar die Gesammtdicke beider zusammen = 1 angenommen. Die zu jeder Abscisse gehörenden drei Ordinaten bezeichnen die drei Hauptaxen des fraglichen Ellipsoids, nämlich 0α die grösste, 0β die mittlere, 0γ die kleinste. Die Ordinaten der Abscisse 0 repräsentiren also die Axen desjenigen Ellipsoids, welches einem Packet aus nur positiven Lamellen entspricht, diejenigen der Abscisse 1 einem solchen aus nur negativen. Da sich positive und negative Lamellen nur dadurch unterscheiden, dass sie um 90° um die Axe mittlerer Elasticität gegen einander verdreht sind, so ist die Axe 0β, d. h. die mittlere Axe, für beide dieselbe und ebenso auch für Packete, die aus positiven und negativen Lamellen in irgend einem Verhältniss zusammengesetzt sind. Die durch Verbindung dieser Ordinaten entstehende Curve ist also einfach eine Parallele zur Abscissenaxe, nämlich die Linie $\beta_\varrho \beta_\varrho'$ für rothes und $\beta_v \beta_v'$ für violettes Licht. Die beiden andern Axen, die kleinste und die grösste, sind in den genannten extremen Fällen einfach mit einander vertauscht, d. h. während für positive Lamellen die Axe kleinster Elasticität, also 0γ, senkrecht zur Ebene des Lamellensystems stand, ist es für negative die der grössten, also 0α. Für Mischungen aus positiven und negativen erhalten wir also für die senkrecht stehende Axe Mittelwerthe, die in der graphischen Darstellung die Curven (schiefe Geraden) $\gamma_\varrho \alpha_\varrho'$ (für rothes) und $\gamma_v \alpha_v'$ (für violettes Licht) erzeugen. Für die dritten Axen erhält man analog $\alpha_\varrho \gamma_\varrho'$ und $\alpha_v \gamma_v'$. Da die relative Lage dieser Linien nicht geändert wird, wenn wir die Abscissenaxe des Coordinatensystems höher oder tiefer legen, so können die Strecken 0γ und 0β beliebig gewählt werden; 0α ist dann bestimmt und zwar muss nach den von Mallard aufgestellten Formeln $\operatorname{tg} V = \sqrt{\frac{0\beta - 0\gamma}{0\alpha - 0\beta}}$ sein. Für den Schnittpunkt der Linien $\beta_\varrho \beta_\varrho'$ mit $\gamma_\varrho \alpha_\varrho'$ findet sich die Abscisse $m = \left(\frac{0\beta - 0\gamma}{0\alpha - 0\gamma}\right)_\varrho = 0{,}308$ (da $\operatorname{tg} V = 0{,}445$); für den Schnittpunkt $\beta_v \beta_v'$ mit $\gamma_v \alpha_v'$ folgt $m = 0{,}297$.

Ist also $m = 0{,}297$, d. h. sind 29,7% positive und 70,3% negative Lamellen von gleicher Dicke über einander geschichtet, so fallen die optischen Axen für violettes Licht gerade zusammen, da für dieses die kleine Axe 0γ gleich der mittleren 0β, das Ellipsoid also ein Rotationsellipsoid geworden ist. Die optischen Axen für rothes Licht divergiren bei diesem Mischungsverhältniss noch.

Für $0{,}297 < m < 0{,}308$ wird diejenige Axe des »Ellipsoids für violettes Licht«, welche vorher die mittlere war, die kleinste, d. h. die Ebene der optischen Axen für violettes Licht erscheint um 90° gedreht. Für rothes Licht ist dies noch nicht der Fall, es würde erst eintreten für $m = 0{,}308$.

Bei Werthen von m wenig über 0,308 sind beide Axenebenen senkrecht zu ihrer früheren Richtung, der Winkel für rothes Licht ist aber noch beträchtlich kleiner, als der für blaues; z. B. für $m = 0{,}328$, welches einem beobachteten Werthe von $V_\varrho = 9{,}^\circ8$ entspricht, wird $V_v = 12{,}^\circ2$ (die Beobachtung hatte $V_v = 13^\circ$ ergeben).

So lassen sich alle im Zwickel beobachteten Erscheinungen, der kleine Axenwinkel, die schwankende Grösse desselben, die starke Dispersion, die wechselnde Lage der optischen Axenebene durch die eine Annahme erklären, dass der Zwickel aus Lamellen von zweierlei verschiedener Orientirung besteht; die einen sind gegen die anderen um die Axe b um 90° gedreht, und die nahezu gleichen Axen a und c sind in ihnen vertauscht.

Die beiden seitlichen Felder, rechts und links von dem Zwickel, sind gegen ihre zu h normale Grenzlinie optisch symmetrisch orientirt. Jedes Feld ist von zwei, unter 82°—83° sich schneidenden Streifensystemen durchzogen, von denen dasjenige am meisten hervortritt, welches der an dem betreffenden Felde liegenden Prismenfläche m parallel geht; das andere ist der Fläche m des zweiten Feldes annähernd parallel (vergl. Fig. 8).

Die Felder löschen in keiner Lage der Platte aus und ein fixirtes Theilchen wechselt bei dem Drehen seine Farbe. Im convergenten Licht zeigen sie sehr gestörte Lemniscaten und Hyperbeln. Die Ebene der optischen Axen wechselt von Punkt zu Punkt ihre Richtung und bildet mit der zu h normalen Grenzlinie einen spitzen Winkel, der meist kleiner als 50° und für verschiedene Farben verschieden ist: die seitlichen Felder zeigen gekreuzte Dispersion. Mallard fand an einem Punkt den Winkel der optischen Axenebene mit der Normalen zu h für rothes Licht = 48°, für blaues Licht = 58°, den wahren Axenwinkel für Roth oder Blau $V = 14{,}^\circ3$. Übrigens ist die Grösse des Axenwinkels sehr schwankend, er ist im allgemeinen um so kleiner, je mehr die Richtung der Axenebene der Normalen zu h sich nähert.

Das optische Verhalten der seitlichen Felder erklärt Mallard in ähnlicher Weise, wie das des Zwickels, jedoch sind hier die Verhältnisse complicirter. Es wird eine vierfach verschiedene Gruppirung von über einander gelagerten Lamellen angenommen, welche ermöglicht wird durch die Dimensionen des Prehnit.

Wir haben schon gesehen, dass die Axen a und c fast gleich, die Dimensionen in diesen Richtungen pseudoquadratisch sind. Mallard macht nun darauf aufmerksam, dass die Axe c eine dreizählige Pseudosymmetrieaxe ist (wie die Axe b eine zweizählige), da der Winkel des Prismas $\infty\breve{P}2$ (120) an $b = 118^\circ 29'$ ist, also dem Winkel eines hexagonalen Prismas nahe steht. Jedoch hebt Mallard hervor, dass dies Prisma noch nicht beobachtet ist, und überhaupt die Krystalle von Prehnit niemals pseudohexagonale Form haben.

Trotzdem nimmt Mallard an, dass in den seitlichen Feldern um 60° gegen die normale Orientirung um die Verticalaxe gedrehte Lamellen eingelagert sind.

Die seitlichen Felder würden demnach aufgebaut sein:

1) aus normal orientirten Lamellen,
2) aus solchen, welche um 60° um die Verticalaxe nach links,
3) aus solchen, welche um ebensoviel nach rechts gedreht sind,
4) aus solchen, welche um die Axe *b* um 90° gedreht sind.

Indem Lamellen, in dieser verschiedenen Weise orientirt, sich über einander lagern, wird das optische Verhalten in bestimmter Weise geändert. Wenn in dem linken Felde z. B. Lamellen der ersten, zweiten und vierten Orientirung sich über einander lagern, so bewirken sie, dass die Ebene der optischen Axen zwischen die Normale zu *b* und eine Gerade zu liegen kommt, welche von der Normalen um 60° nach links abweicht. Nach der dritten Orientirung zwischengelagerte Lamellen führen zu einer Verkleinerung dieses Winkels, welcher durch die Beobachtung auch immer kleiner als 60° gefunden wird. Überhaupt stimmt das bei der angenommenen Verwachsung zu erwartende optische Verhalten der Seitenfelder mit dem beobachteten im allgemeinen überein.

Mallard sieht daher seine Annahme über den Bau der anomalen Prehnitkrystalle als bewiesen an, und was hier über den Prehnit von Farmington gesagt ist, gilt auch für die andern anomalen Prehnite, welche im wesentlichen dieselben Erscheinungen zeigen.

Zum Schluss sei bemerkt, dass ähnliche Anomalien auch in isomorphen Mischkrystallen vorkommen können, — Wyrouboff[1]) hat z. B. gekreuzte Dispersion in rhombischen Mischkrystallen von schwefelsaurem und chromsaurem Natrium-Ammonium beobachtet — aber bei Prehnit beruhen die Anomalien nicht auf isomorpher Beimischung, da manche Prehnite, z. B. der von Striegau (mit 43,29 % $Si\,O_2$, 25,58 % $Al_2\,O_3$, Spur von $Fe_2\,O_3$, 26,36 % Ca O, 4,77 % Glühverlust [6]) fast chemisch rein sind und doch die Anomalien zeigen.

Pennin.

Literatur.

1. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 16. P. A. 126. p. 412.
2. E. Mallard. Anomal. opt. p. 151.
3. G. Tschermak. Die Chloritgruppe. I. Theil. S. W. A. XCIX. Abth. I. 17. April 1890.
4. A. Hamberg. Ein manganhaltiger Chlorit von Harstigen. Geol. Fören. i Stockholm Förhandl. Bd. 12. p. 580. 1890.

Die Krystalle von Pennin sind, soweit die Form sich bestimmen lässt, rhomboëdrisch; ihre optischen Eigenschaften sind nicht constant; optisch einaxige Stellen wechseln ab mit optisch zweiaxigen, optisch positive mit optisch

---

[1]) Sur la dispersion tournante de quelques substances orthorhombiques. Bull. min. V. p. 272—281.

negativen, schwach zweiaxige mit stärker zweiaxigen. Die Ebene der optischen Axen hat in derselben Platte bisweilen drei um 120° verschiedene Lagen.

Dies Verhalten kann nach unseren Erfahrungen auf verschiedenen Ursachen beruhen:

Entweder sind die Krystalle von Pennin rhomboëdrisch und isomorphe Mischungen von einer optisch positiven und einer optisch negativen Substanz; die Zweiaxigkeit wäre eine durch die isomorphe Beimischung hervorgerufene Anomalie.

Oder die Krystalle sind monoklin und zwillingsartig so mit einander verwachsen, dass gleichnamige optische Elasticitätsaxen sich kreuzen. Hierdurch wird der Axenwinkel kleiner und Einaxigkeit kann entstehen. Da die Krystalle bald positiv bald negativ sind, so lässt sich schliessen, dass im Pennin zwei Substanzen von verschiedenem optischen Charakter zusammenkrystallisirt sind.

G. Tschermak, welcher in der neuesten Zeit eine ausführliche Untersuchung über die Chloritgruppe, zu welcher Pennin gehört, veröffentlicht hat, entscheidet sich für die letzte Annahme, und wir können ihm nur zustimmen, denn man kann in fast ununterbrochener Reihenfolge die Entwicklung der Einaxigkeit aus der Verwachsung zweiaxiger Lamellen verfolgen. »Während die kieselärmeren Glieder der Chloritgruppe, wie Klinochlor, Korundophilit bei einem regelmässig drei- oder sechsseitigen Umriss der Krystalle eine monokline Form darbieten, zeigt das kieselreichste Glied, der Pennin, eine scheinbar rhomboëdrische Form. Die Messungen am Pennin ergeben aber vollständige Übereinstimmung der Winkel mit jenen des Klinochlors und die Resultate der optischen Untersuchung leiten zu der Anschauung, dass die Krystalle des Pennins durch eine zwillingsgemässe Verbindung monokliner Blättchen von der Form des Klinochlors aufgebaut seien und das optisch einaxige Verhalten vieler Penninkrystalle nur von einer regelmässigen Überlagerung der Zwillingsblättchen herrühre.

»Demnach ist die Form des Pennins eine mimetische und die Chlorite der Hauptreihe besitzen alle dieselbe Grundform. Dadurch erfährt die Vermuthung Mallard's von der Einheit der Krystallisation der Chlorite ihre Bestätigung und es zeigt sich eine Analogie mit der Form der Biotite.

»Da jedoch optisch positive und optisch negative Pennine gefunden werden, so lässt sich schliessen, dass im Pennin zwei Substanzen von verschiedenem optischen Charakter zusammenkrystallisirt seien. Die optisch negative Substanz ist wahrscheinlich mit Serpentin identisch. Der Pennin ist aber mit den übrigen Chloriten durch Übergänge verbunden, welche als mimetischer Klinochlor bezeichnet werden, daher der vorgenannte Schluss auf die sämmtlichen Chlorite der Hauptreihe auszudehnen sein wird.«

So lautete die vorläufige Anzeige über den Pennin in dem akademischen Anzeiger IX der Wiener Akademie; kurz vor Abschluss dieser Arbeit bekam ich die ausführliche Abhandlung von G. Tschermak, in die wir nun noch einen Blick werfen wollen.

Der **Klinochlor**, aus dessen Lamellen der Pennin aufgebaut sein soll, ist monoklin. Die einfachen Krystalle aus dem Zillerthal haben rhomboëdrischen Habitus; es sind an ihnen nur drei Zonen ausgebildet, welche um je 120° von einander abstehen. Eine Zone ist die domatische [001 : $\bar{1}$01], die beiden andern sind pyramidale [001 : 130] und [001 : 1$\bar{3}$0]. Die Neigung der Pyramiden- und Domenflächen, welche zusammen ein Rhomboëder bilden würden, zur Basis ist so wenig verschieden, dass der Unterschied noch innerhalb der Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler liegt. Dies zeigt an, dass die Flächen der drei um 120° verschiedenen Zonen sich fast genau so wie Rhomboëderflächen verhalten, da sie gegen eine zu $c = 0P$ (001) senkrechte Axe gleich oder fast genau gleich geneigt sind.

Bemerkenswerth ist die unsymmetrische Vertheilung der meisten Flächen, sowohl an den einfachen, wie an den Zwillingskrystallen. Auf der einen Seite der angenommenen Symmetrieebene sind meist andere Flächen ausgebildet als auf der anderen Seite. Dies verleiht den Krystallen aus dem Zillerthal triklinen Habitus. Auch die Ätzung hat auf $c = 0P$ (001) unsymmetrische Ätzfiguren ergeben, hingegen hat sich aus den Messungen eine Abweichung von den Forderungen des monoklinen Systems nicht mit Sicherheit erkennen lassen. Auch bei der optischen Untersuchung hat sich keine Abweichung von dem monoklinen System ergeben.

Die Ebene der optischen Axen ist meistens parallel der Symmetrieebene 010. In diesem Falle ist die Elasticitätsaxe $\mathfrak{c}$ nicht senkrecht zur Endfläche c, sondern neigt sich etwas gegen vorne. Die Abweichung der ersten Mittellinie $\mathfrak{c}$ von der Normalen zur Spaltebene c ist an den Krystallen verschiedener Fundorte verschieden, und an denen von demselben Fundort nicht ganz constant; sie beträgt für Krystalle

von Achmatowsk	2° 30′
von Westchester	7° 10′
vom Zillerthal	6° 45′.

Der Winkel der optischen Axen ist ebenfalls für Krystalle verschiedener Fundorte verschieden und für die von demselben Fundort nicht constant; er beträgt für den Klinochlor von

Achmatowsk	32°	(2E)
Westchester	89° 41′	-
Zillerthal	83° 0′	-

Die Dispersion $\varrho < v$ ist bei allen gleich.

Die Krystalle von Pfitsch, Texas, Ala verhalten sich ungefähr ebenso, wie jene von Achmatowsk. Alle geben bisweilen einen grösseren Axenwinkel als den eben angeführten, häufig aber einen kleineren, und manche Krystalle erscheinen fast einaxig, da eine Trennung des Kreuzes kaum bemerklich ist. Der Klinochlor von Achmatowsk wurde daher auch für optisch einaxig gehalten. Zuweilen verhalten sich verschiedene Stellen eines Krystalls ungleich.

An manchen Krystallen ist eine abnorme optische Orientirung zu beobachten, indem die optischen Axen in einer zur Symmetrieebene senkrechten

Lage wahrgenommen werden. Der optische Charakter und die Art der Dispersion $\varrho < v$ bleiben ungeändert. Horizontale Dispersion ist nicht zu erkennen. Bisweilen haben in demselben Krystall die optischen Axen z. Th. die gewöhnliche Lage parallel 010, z. Th. sind sie senkrecht hierzu.

Sehr bemerkenswerth sind die Zwillingsverwachsungen des Klinochlor. Ebenso wie bei Glimmer fällt die Spaltfläche *c* der verschiedenen, zu einem Zwilling verbundenen Individuen genau in eine Ebene; das Zwillingsgesetz ist daher dasselbe, welches für die Glimmer gilt und dahin ausgesprochen werden kann, dass eine Ebene, welche in der Zone $c\,m = [001 : 110]$ liegt und auf *c* senkrecht ist, als Zwillingsebene fungirt. Dieser Ebene kommen beim Klinochlor keine rationalen Indices zu.

Wir können aber die Verwachsungen auch so erklären, dass in den verschiedenen, zu einem Krystall vereinigten Individuen nahezu gleiche Richtungen vertauscht sind; wir haben gesehen, dass die Form der einfachen Krystalle pseudohexagonal ist, die Abweichungen von hexagonal-rhomboëdrischer Symmetrie sind äusserst gering. In den Zwillingen ist nun die Stellung eines jeden Individuums bei paralleler Lage der *c*-Flächen von der des andern um 120° verschieden, die gleichwerthigen horizontalen Axen sind also mit einander vertauscht.

In den Zwillingen lagern sich die Individuen entweder neben einander oder über einander. Diese Verwachsungen sind für uns hier von Interesse, denn durch Übereinanderlagerung der verschieden orientirten Lamellen werden die gleichnamigen optischen Elasticitätsaxen gekreuzt und es tritt mehr oder weniger Compensation ein.

Bei der optischen Untersuchung der in dieser Weise zusammengesetzten Krystalle findet man einen bunten Wechsel aller der zuvor angegebenen Verhältnisse bezüglich der Lagerung und Abgrenzung der Individuen. Die optischen Axen erscheinen hier nicht bloss in den durch das Zwillingsgesetz geforderten drei Stellungen, sondern sie finden sich in den Feldern von undeutlicher Auslöschung zuweilen auch in andern, wechselnden Lagen. Öfter wurde in solchen Feldern die Ebene der optischen Axen um 20°—22° von derjenigen parallel 010 abweichend gefunden. Die an einfachen Krystallen zuweilen beobachtete abnorme Orientirung senkrecht gegen 010 wurde auch in Zwillingskrystallen von Pfitsch untergeordnet angetroffen. Der Winkel der optischen Axen variirt in den Zwillingen ungemein und wird oft Null. Wo die Einzelkrystalle zusammenstossen, treten häufig einaxige Stellen auf. Die Schichten, in welche die Zwillingskrystalle durch Spaltung zerlegt werden können, zeigen sehr häufig einen verschiedenen Bau. Aber nicht nur einzelne Schichten oder Theile dieser Klinochlorkrystalle sind einaxig. In den Drusen der beschriebenen Krystalle, z. B. aus dem Zillerthal, findet sich hie und da ein Krystall, welcher in der Form und Farbe keinen Unterschied gegenüber den andern erkennen lässt, jedoch in allen seinen Theilen optisch einaxig erscheint.

Solche Zwillingsgebilde führen allmählich hinüber zum Pennin und dem von G. Tschermak als mimetischer Klinochlor bezeichneten Chlorit; beide unterscheiden sich eigentlich nur durch den Habitus der Krystallform, die bei dem mimetischen Klinochlor durch das Vorherrschen der Basis tafelig, bei Pennin durch ein steiles Rhomboëder beinahe prismatisch ist; im übrigen ist die Krystallform des mimetischen Klinochlor und des Pennin der des Klinochlor so ähnlich, dass die entsprechenden Winkel bei allen dreien innerhalb der Messungsfehler übereinstimmen.

Das optische Verhalten des mimetischen Klinochlors beschreibt G. Tschermak wie folgt:

»Die Spaltblättchen, welche aus den Krystallen erhalten werden, sind optisch positiv und sehr häufig einaxig. Man erkennt ein etwas verwaschenes Kreuz auf grünem Grunde. Nicht selten öffnet sich das Kreuz etwas und es lässt sich constatiren, dass die Axenebene parallel einer Schlaglinie sei. Dies entspricht der normalen Orientirung des Klinochlors. Zuweilen beobachtet man jedoch auch die abnorme Orientirung: die Axenebene ist senkrecht gegen eine Schlaglinie und parallel einer Seite von c. Bisweilen wird in einem und demselben Blättchen an verschiedenen Stellen desselben die Axenebene in den drei um 120° verschiedenen Stellungen wahrgenommen. Die Dispersion ist in allen Fällen wie beim Klinochlor $\varrho < v$ (nicht, wie im Original steht, $\varrho > v$). Dickere Krystalle oder dickere Blättchen aus einem Krystall benehmen sich öfters optisch einaxig, während dünne Blättchen aus demselben Krystalle optisch zweiaxig erscheinen.

»Obwohl in den meisten zweiaxigen Blättchen die Öffnung des Kreuzes nur gering, also der Axenwinkel klein ist, ergeben sich doch auch bisweilen Blättchen mit grösserem Axenwinkel, deutlicher Dispersion und merklicher Abweichung der ersten Mittellinie von der Normalen zu c. Das Maximum des scheinbaren Winkels beobachtete ich zu 42°«. . . . .

Da also die zweiaxigen Theile die optischen Eigenschaften des Klinochlor besitzen und die Blättchen in drei um 120° verschiedenen Lagen verwachsen sind, so ist die Einaxigkeit als durch Compensation entstanden zu betrachten und die rhomboëdrische Form ist eine mimetische.

Ganz ähnlich verhält sich nach der Beschreibung von G. Tschermak der Pennin:

»Platten von Pennin erscheinen, wie schon Des Cloizeaux angab, einaxig bis deutlich zweiaxig, im Übrigen ist das Verhalten von zweierlei Art. Die einen Krystalle sind positiv und zeigen im Falle der Zweiaxigkeit $\varrho < v$, wie Klinochlor, die anderen sind negativ und zeigen in jenem Falle $\varrho > v$. Der optische Charakter scheint nicht mit der Farbe zusammenzuhängen, obwohl unter den von mir geprüften Krystallen die positiven oft olivengrün, die negativen oft lauchgrün waren.

»Unter den Krystallen von Zermatt giebt es viele von positivem Charakter. Die einaxigen Platten zeigen bisweilen ein scharfes, meist aber ein verwaschenes Kreuz auf grünem oder blauem Grunde. In vielen Fällen öffnet

sich das Kreuz beim Drehen der Platte. Nicht selten ist der Axenwinkel grösser, das Maximum betrug in meinen Versuchen 61°. Die Hyperbeln sind dann breit und verschwommen. Die Ebene der optischen Axen ist gewöhnlich parallel einer Schlaglinie, zuweilen aber ist sie senkrecht zu einer solchen Richtung. In einigen Fällen wurden die optischen Axen in drei um 120° verschiedenen Lagen in derselben Platte wahrgenommen. Viele Platten verhalten sich hier einaxig, dort zweiaxig. Die Grenzen der sich verschieden verhaltenden Stellen sind häufig unbestimmt und es zeigen sich allenthalben Übergänge. Bisweilen aber ist die Grenze scharf, wie in einem Falle, da der Kern des Krystalles einaxig, die scharf abgegrenzte Rinde aber zweiaxig erschien, einen Axenwinkel von 36° gab und senkrecht zum Umrisse fein linirt war. Die äussere Schicht war demnach Klinochlor. Die Ebene der optischen Axen desselben war parallel den Seiten und zeigte drei Stellungen, entsprechend der Zwillingsbildung nach dem Glimmergesetze. So wie der positive Pennin von Zermatt verhalten sich auch Krystalle aus dem Zillerthal, welche neben negativen Krystallen vorkommen.

»Der optisch positive Pennin stimmt, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, mit dem mimetischen Klinochlor in optischer Beziehung genau überein und es ist kein Unterschied zu beobachten ausser diesem, dass das Axenbild im Pennin oft weniger scharf, also mehr verwaschen aussieht. Hier ist auch an die früher mitgetheilten Beobachtungen zu erinnern, welchen zu Folge auch unter den einfachen Krystallen des Klinochlors vom Zillerthal solche vorkommen, die einaxige Stellen zeigen und auch in Drusen mitten unter Krystallen von dem normalen Verhalten einzelne gefunden werden, welche bei sonst gleicher Form in allen Theilen positiv einaxig sind. Somit lässt sich eine Grenze zwischen Klinochlor und dem positiven Pennin keineswegs erkennen.

»Die Mehrzahl der Penninkrystalle von Zermatt ergab einen optisch negativen Charakter. Die einaxigen Platten zeigen ein breites verwaschenes Kreuz auf blauem Grunde. Nicht selten öffnet sich das Kreuz beim Drehen der Platte und es ergiebt sich ein kleinerer oder grösserer Axenwinkel, der in meinen Beobachtungen im Maximum 49° erreichte. Im Axenwinkelapparat ist der Winkel nicht messbar, derselbe kann bloss an der Scala abgeschätzt werden. Eine Abweichung der ersten Mittellinie von der Normalen auf *c* ist nicht wahrzunehmen. Die Dispersion der optischen Axen ist jener entgegengesetzt, welche am Klinochlor beobachtet wird, sie ist nämlich $\varrho > v$. Die Ebene der optischen Axen ist wieder parallel einer Schlaglinie und normal zu einer Seite der Krystallplatte, manchmal aber auch senkrecht zu einer Schlaglinie und parallel einer Seite. Bisweilen wurden die optischen Axen in drei um 120° verschiedenen Lagen in derselben Platte beobachtet. Manche Platten sind stellenweise einaxig, an den übrigen Punkten zweiaxig, die Grenze ist aber unbestimmt und zeigt alle Übergänge. Dass aber auch Platten gefunden werden, in welchen positive und negative Stellen mit unbestimmter Grenze neben einander liegen, hat schon Des Cloizeaux mitgetheilt[1]).

[1]) Manuel de minéralogie, I. p. 437.

»Aus dem Zillerthal erhielt ich Stufen, welche grössere lauchgrüne Krystalle von negativem Pennin und kleine olivengrüne von positivem Pennin, beide von der spitz rhomboëdrischen Form, die grösseren zuweilen mit der Endfläche combinirt, alle von weissem körnigem Ankerit eingeschlossen, darbieten. Von den kleinen positiven Krystallen wurde schon früher gesprochen. Die grossen negativen Krystalle verhalten sich optisch meist ebenso wie die negativen von Zermatt, manche jedoch geben ein scharfes Kreuz und den ersten Ring. An einer Stufe wurden unter den positiven Krystallen solche gefunden, welche eine äussere Schicht mit negativem Verhalten und scharfem Kreuz erkennen liessen. Hier hat man also eine regelmässige Aufeinanderfolge von positivem und negativem Pennin in demselben Krystall.

»Die Mehrzahl der Penninkrystalle giebt im convergenten Licht bloss ein verwaschenes Kreuz mit breiten Armen und keinen Ring, was schon Heusser auffiel[1]. Zuweilen finden sich aber Platten, welche auch zwischen starken Linsen kaum ein Kreuz wahrnehmen lassen und bei der Prüfung des optischen Charakters ein zweifelhaftes Resultat ergeben, endlich solche, die gleichförmig dunkel bleiben. Des Cloizeaux fand manche Platten des Pennins von Ala gänzlich frei von Doppelbrechung. Im parallelen Lichte trat eine Textur hervor, die mit einem Netz von gedrehten und zusammengedrängten Fasern verglichen wurde. Ich fand eine feine, theils parallelfaserige, theils wirrfaserige Zeichnung auch in manchen Platten von Zermatt mit deutlicher Doppelbrechung.

»Alle die ungewöhnlichen optischen Erscheinungen an Penninplatten, das verwaschene Kreuz, der Mangel an Interferenzringen, das farbige blaue oder grüne Mittelfeld, endlich das Fehlen der Doppelbrechung in manchen Exemplaren erklären sich durch innige Mischung von einer optisch positiven mit einer optisch negativen Substanz in demselben Krystalle, in der Weise wie beim Apophyllit.« Die Einaxigkeit selbst ist eine Compensationserscheinung, die Blättchen, welche den Pennin aufbauen, sind optisch zweiaxig und monoklin wie Klinochlor. Klinochlor, der mimetische Klinochlor und der Pennin unterscheiden sich hauptsächlich durch die Häufigkeit der Zwillingsverwachsung, welche am feinsten ist bei Pennin, am einfachsten bei Klinochlor.

Ähnlich wie mimetischer Klinochlor und Pennin verhält sich nach G. Tschermak der Leuchtenbergit, Kotschubeyit und Kämmererit; auch sie sollen aus gekreuzten zweiaxigen monoklinen Lamellen aufgebaut, und die Einaxigkeit Folge von Compensation sein.

---

1) P. A. Bd. 99. p. 174.

II. Optische Anomalien bei dimorphen enantiotropen Substanzen.

Allgemeine Eigenschaften dimorpher enantiotroper Substanzen.

Literatur.

O. Lehmann. Molekularphysik. Bd. I. p. 119—193. 1888.

Es giebt eine Reihe von Substanzen, welche in verschiedenen Modificationen vorkommen und die Eigenschaft haben, dass sie durch Änderung von Temperatur und Druck beliebig oft aus der einen in die andern Modificationen übergeführt und rückgewandelt werden können. Solche dimorphe Substanzen hat man bisher als physikalisch isomer und in ähnlicher Weise bezeichnet, wir nennen sie jetzt nach dem Vorschlag von O. Lehmann enantiotrop, weil der Name an die Natur der Erscheinungen, nicht an Hypothesen erinnert.

Die wichtigsten Eigenschaften der enantiotropen Körper charakterisirt O. Lehmann p. 187:

»Bei den enantiotropen Körpern existirt eine bestimmte (normale) Umwandlungstemperatur derart, dass, wenn die beiden Modificationen in Berührung sind, bei Erwärmung über diese Temperatur sich die Grenzfläche im einen Sinne verschiebt, bei Abkühlung unter dieselbe im andern Sinne. Von den beiden Modificationen ist also, je nachdem die Temperatur unter oder über der Umwandlungstemperatur liegt, die eine oder die andere die stabile. Die Umwandlung über der Umwandlungstemperatur ist von Wärmebindung, die andere von Wärmeentbindung begleitet. Sind die beiden Modificationen nicht in Berührung, so kann die Umwandlungstemperatur sowohl im einen Sinne wie im andern überschritten werden, es ist sowohl Überkühlung wie auch Überhitzung möglich, doch letztere meist nur in geringem Maasse; schliesslich tritt spontane Umwandlung in die bei der betreffenden Temperatur stabile Modification ein. Erfolgt die Umwandlung bei einer Temperatur, die nur sehr wenig unter der Umwandlungstemperatur liegt, so ist die Geschwindigkeit der Umwandlung nur sehr klein. Sinkt die Temperatur, so wird die Umwandlungsgeschwindigkeit rasch grösser, doch nicht proportional der Überkühlung, denn bald erreicht sie ein Maximum, so dass bei noch weiter schreitender Abkühlung wieder Abnahme eintritt und sich der Werth der Umwandlungsgeschwindigkeit langsam der Null nähert. Die Temperatur, bei welcher dieser Werth erreicht wird, möge die Indifferenztemperatur heissen.«

Die Bildung der verschiedenen enantiotropen Modificationen einer dimorphen Substanz kann von der Beschaffenheit und Temperatur der Lösungen abhängen, aus welchen die Substanz sich abscheidet. Wir haben über die

Wirkungen von »Verunreinigungen« der Lösung bis jetzt nur wenig Erfahrung. Am genauesten ist nach dieser Richtung hin der kohlensaure Kalk untersucht, dessen beide Modificationen, Kalkspath und Aragonit, O. Lehmann wegen der Ähnlichkeit mit Salpeter als enantiotrop glaubt betrachten zu können, obwohl die Rückumwandlung der rhomboëdrischen Form in die rhombische bis jetzt nicht beobachtet ist. Es ist aber bekannt[1]), dass der kohlensaure Kalk bei gewöhnlicher Temperatur aus einer Lösung als Aragonit sich abscheidet, wenn dieselbe schwefelsauren Kalk, kohlensaures Strontium oder Baryum oder Bleisalze gelöst enthält, dagegen als Kalkspath, wenn sie z. B. kieselsaures Natron oder Kali enthält. Aus reiner Lösung von doppelkohlensaurem Kalk scheidet sich Kalkspath ab, wenn sie concentrirt, Kalkspath und Aragonit zusammen, wenn sie sehr verdünnt ist. Beide Modificationen können, wie bekannt, bei gewöhnlicher Temperatur unbegrenzt lange neben einander bestehen, erst bei hoher Temperatur geht Aragonit in Kalkspath über. Auch Kalisalpeter krystallisirt häufig in demselben Tropfen, namentlich wenn die Lösung mit Ätzkali versetzt ist, bei gewöhnlicher Temperatur in der rhomboëdrischen und rhombischen Modification, aber nur die letztere ist beständig, die andere wird aufgezehrt oder umgewandelt. Nur wenn allein rhomboëdrische Krystalle entstanden sind, können sie sich längere Zeit — nach meinen Beobachtungen Monate lang — halten, sie wandeln sich aber in die rhombische Modification um, sobald sie mit einem Krystall oder Bruchstück dieser in Berührung kommen. Bei höherer Temperatur dagegen ist umgekehrt die rhomboëdrische Modification beständig, die rhombische unbeständig.

Die Existenz jeder Modification einer dimorphen enantiotropen Substanz ist daher nicht sowohl von der Art der Bildung, als vielmehr von der Temperatur und, wie in einzelnen Fällen nachgewiesen ist, von dem Druck abhängig. Jedoch ist die Temperatur, bei welcher die Umwandlung eintritt, nur dann constant, wenn die beiden Modificationen sich unmittelbar berühren:

»Dass eine unter die Umwandlungstemperatur abgekühlte Modification sich in einem labilen Gleichgewichtszustande befindet und durch geringe äussere Einflüsse zur Umwandlung veranlasst werden kann, ist zwar richtig, doch lässt sich nicht behaupten, dass die Wahrscheinlichkeit der freiwilligen Umwandlung in gleichem Maasse zunimmt, als die Temperatur unter den Umwandlungspunkt heruntersinkt, ebenso wenig wie, dass die Umwandlungsgeschwindigkeit um so grösser sei, je höher die Temperatur. Es wird im Gegentheil in geringer Tiefe unter der Umwandlungstemperatur ein Maximum der Umwandlungsgeschwindigkeit erreicht. Sinkt die Temperatur noch tiefer, so wird das Bestreben zur Umwandlung wieder geringer und hört schliesslich ganz auf. Daher kommt es, dass manche Modificationen bei gewöhnlicher Temperatur, selbst in Berührung, unbegrenzt lange Zeit neben

[1]) H. Credner. Journal f. prakt. Chemie 1870 u. Sitzber. d. Kgl. Sächs. Akademie v. 2. Juni 1870. — M. Bauer. N. Jb. 1890, I. p. 21.

einander liegen können, obschon die Umwandlungstemperatur sehr hoch liegt. In solchem Falle erfolgt dann die Umwandlung erst beim Erwärmen und wird immer rascher und rascher, bis endlich der Punkt der maximalen Umwandlungsgeschwindigkeit erreicht wird.«

Wenn die Bildung und Umwandlung der verschiedenen Modificationen einer dimorphen Substanz nicht unter dem an der Erdoberfläche herrschenden Druck, wie bisher immer vorausgesetzt, sondern unter ungewöhnlichen Druckverhältnissen vor sich geht, so wird die Bildungs- und Umwandlungstemperatur verschoben. Dies haben Mallard und Le Chatelier[1] durch Versuche mit Jodsilber bewiesen. Dasselbe krystallisirt bei gewöhnlicher Temperatur hexagonal, wird aber bei 146° regulär, wenn der Druck ein für die Erdoberfläche normaler ist. Wird aber ein Druck von 2500 kg auf den Quadratcentimeter ausgeübt, so geht es schon bei 20° aus der hexagonalen in die reguläre Modification über. Würden die Krystalle unter einem solchen Druck sich bilden, so müssten sie regulär werden. Würde alsdann der Druck aufgehoben, so würden sie in die hexagonale Modification übergehen und würden, vorausgesetzt, dass die Form erhalten bliebe, doppelbrechend, optisch einaxig sein, aber reguläre Krystallform besitzen. Nach der Ansicht von C. Klein könnten vielleicht ähnliche Bedingungen, starker Druck, bei der Bildung des Boracit geherrscht und zur Entstehung der regulären Modification geführt haben, welche nach Aufhebung des Drucks unter Erhaltung der regulären Form in die rhombische übergegangen wäre.

Es kann demnach die Bildung der verschiedenen Modificationen einer dimorphen enantiotropen Substanz von der Temperatur, der chemischen Zusammensetzung der Mutterlauge und dem Druck abhängen, während ihre Existenz bei den an der Erdoberfläche herrschenden Druckverhältnissen im wesentlichen von der Temperatur abhängt.

Die näheren Umstände, welche die Umwandlung einer Modification in eine andere begleiten, lernen wir am besten an einem Beispiel kennen und wählen hierzu das am genauesten untersuchte salpetersaure Ammoniak. Wir folgen den Angaben von O. Lehmann[2].

Das salpetersaure Ammoniak schmilzt etwa bei 168°; genau lässt sich der Schmelzpunkt schwer bestimmen, da es kaum möglich ist, die Substanz vollkommen trocken zu erhalten, und wenig beigemischtes Wasser die Schmelztemperatur schon beträchtlich erniedrigt. Es löst sich nämlich das Salz bei Erhöhung der Temperatur mit so stark zunehmender Leichtigkeit in Wasser, dass in der Nähe des Schmelzpunktes unbegrenzte Mischbarkeit eintritt. Beim Erstarren der geschmolzenen Masse oder der Mischung mit wenig Wasser (oder besser verdünntem Glycerin) erscheinen zunächst reguläre Krystalle in Form von Krystallskeletten. Im polarisirten Licht verhalten sich die Krystalle durchaus isotrop.

---

1) Bull. min. VII. p. 478—484. 1884.

2) Z. Kr. I. p. 106. 1877 und Molekularphysik. I. p. 153.

Bei fortschreitender Abkühlung tritt aber plötzlich, etwa bei 127°, eine Veränderung derselben ein, sie werden trübe und doppelbrechend und, sofern sie sich in einer Lösung befinden, ändern sie ihre Form unter gleichzeitiger Vergrösserung, da der neuen Form geringere Löslichkeit zukommt als der regulären. Es lässt sich aus den Wachsthumsformen und ihrem optischen Verhalten schliessen, dass die nun entstandenen Krystalle rhomboëdrisch sind.

Kühlt sich die Lösung oder die aus dem Schmelzfluss erstarrte Masse noch weiter ab, so entstehen bei ca. 87° die nadelförmigen rhombischen Krystalle, deren gesetzmässige Stellung gegen die rhomboëdrischen bei spontaner Umwandlung der letzteren ein ausgezeichnetes Beispiel für die Erscheinung bietet, dass bei Umwandlung einer Modification in die andere die neue im allgemeinen in regelmässiger Stellung gegen die erste auftritt. Die Krystalle stellen sich nämlich derart, dass die Verticalaxe der rhombischen (d. h. die der grössten Ausdehnung entsprechende) mit der Hauptaxe des Rhomboëders zusammenfällt. Hierbei kommen, in Folge der beträchtlichen Volumänderung, die Krystallskelette während der Umwandlung ins Wanken und häufig werden einzelne Stücke abgeschleudert.

Makroskopisch kann man diese Modification in Form zolllanger Nadeln aus heisser Lösung in verdünntem Weingeist erhalten, aber sie wandeln sich schon gewöhnlich in der Lösung, sicher aber beim Herausnehmen, in die vierte ebenfalls rhombische Modification um, die man bei gewöhnlicher Temperatur in ziemlich guten Krystallen aus wässerigen Lösungen erhält. Die Umwandlung schreitet gewöhnlich von der Berührungsstelle aus langsam durch die ganze Nadel hindurch fort, so dass man den Vorgang leicht makroskopisch beobachten kann.

Die mikroskopischen Nadeln der vierten Modification sehen denen der dritten der Form nach sehr ähnlich, sind aber leicht von ihr dadurch zu unterscheiden, dass sie einen erheblich geringeren Brechungsexponent besitzen, weshalb sie in der Flüssigkeit sehr blass erscheinen, während dagegen die Nadeln der dritten Modification mit sehr scharfen Umrissen und tief schwarzen Rändern auftreten. Dass die letzteren bei der Umwandlung in die vierte Modification nicht nur blass, sondern auch trüb werden, erklärt sich durch die Volumänderung, welche bedingt, dass in der Masse zahlreiche feine Poren auftreten, welche den Krystallen im durchfallenden Licht gleichzeitig eine bräunliche Farbe (Milchglasfarbe) ertheilen.

Erwärmt man diese vierte Modification immer mehr und mehr, so wandelt sie sich wieder in umgekehrter Reihenfolge in alle andern beschriebenen Modificationen um. Bei etwa 36° entsteht die andere rhombische, bei 87° die rhomboëdrische, bei ca. 127° die reguläre, bei 168° die flüssige und bei 200° endlich die gasförmige Modification. Die Überkühlungen und Überhitzungen können um so weiter getrieben werden, einem je niedrigeren Temperaturintervall die betr. Modification entspricht und je rascher die Temperaturänderung vor sich geht. Es kann auch vorkommen, dass eine Modification ganz übersprungen wird und z. B. die erste direct in die dritte übergeht.

Die bei den Umwandlungen der verschiedenen Modificationen eintretenden Wärmeentwickelungen und Volumänderungen sind von M. Bellati und R. Romanese[1]) bestimmt worden. Aus den Versuchsreihen derselben ergiebt sich, dass bei der Erwärmung des Salzes die Temperatur anfangs regelmässig bis ca. 35,5° steigt, bei 35,67° ein Maximum erreicht, darauf erst schnell, dann langsamer bis 34,96° fällt und von da an wieder steigt. Ähnlich ausgezeichnete Temperaturen sind 86° und 125°. Bei der Abkühlung liegen die Umwandlungstemperaturen etwas tiefer, nämlich bei 124°, 82,5° und 31°.

Bemerkenswerth sind die Volumänderungen. Bei 35° findet eine Volumvergrösserung, bei 86° eine Volumverminderung statt, während die dritte Umwandlung bei 125° wieder von einer Volumvergrösserung begleitet ist. Setzt man das Volumen für 0° = 1, so beträgt die Volumvergrösserung bei 35° = 0,0330, die Contraction bei 86° = 0,0143.

Wir haben das salpetersaure Ammoniak hier so ausführlich besprochen, weil die Erscheinungen von Wichtigkeit sind, und die Substanz genauer wie die andern untersucht und zur Demonstration dieser Verhältnisse ganz besonders geeignet ist.

Auch eine Farbenänderung ist bisweilen mit der Umwandlung verbunden: die Farbe von Jodsilber geht aus hellgelb in dunkel rothgelb über, der hellgelbe Schwefel wird dunkel bernsteingelb, das rothe Quecksilberjodid wird durch Erhitzen gelb, der farblose Chinondihydroparadicarbonsäureester wird bei der Umwandlung grün.

Die letztere Substanz hat zugleich die Eigenthümlichkeit, ihre Form bei der Umwandlung zu ändern. Nach O. Lehmann (l. c. p. 74) krystallisirt sie aus heisser Lösung in Anilin, die zweckmässig durch Zusatz von etwas Colophonium verdickt wird, in farblosen Blättchen, deren Begrenzung die Form eines Parallelogrammes mit einem Winkel von 44° hat. Sobald die Temperatur sich zu einem noch nicht bestimmten Punkt erniedrigt hat, beginnen die Krystalle ihre Form zu ändern, derart, dass die längere Diagonale erheblich kürzer, die kürzere länger wird, und die Winkel der Umgrenzung statt 44° nunmehr 66° betragen. Während der Verschiebung bleibt eine Richtung, welche sehr nahe mit der kurzen Seite des Parallelogrammes zusammenfällt, ungeändert. Dieselbe ist auch nahezu identisch mit einer der Hauptschwingungsrichtungen, und Krystalle, welche zwischen gekreuzten Nicols in Dunkelstellung gebracht waren, erscheinen nach der Umwandlung wieder dunkel. Die Hauptschwingungsrichtungen werden somit in dieser Substanz durch die Umwandlung nicht geändert. Durch wiederholtes Erwärmen und Abkühlen über resp. unter die Umwandlungstemperatur kann man denselben Krystall beliebig oft die Verschiebungen ausführen lassen. Man erhält dabei den Eindruck, fügt O. Lehmann hinzu, als hätte man eine Art Nürnberger Scheere vor sich, die abwechselnd aufgezogen und wieder zusammengeschoben wird.

Bei manchen Substanzen hat man beobachtet, dass, ehe die Umwandlung einer Modification in eine andere vor sich geht, in dem Krystall während des

[1]) Referat in Z. Kr. XIV. p. 78.

Erwärmens **Zwillingslamellen** entstehen, die wieder verschwinden, sobald die Umwandlungstemperatur erreicht ist und die Umwandlung eintritt.

So entstehen nach E. **Mallard**[1]) in dem **schwefelsauren Kali**, ehe es aus der rhombischen, optisch zweiaxigen Modification in die optisch einaxige übergeht, zahlreiche Zwillingslamellen, und jede Krystallplatte dieser Substanz zerspringt bei dem Erwärmen.

Der monokline **Leadhillit** wird nach einer Beobachtung von O. **Mügge**[2]) bei etwa 300° optisch einaxig, kurz vorher, bei 285°—287°, entstehen in demselben zahlreiche Zwillingslamellen und von Anfang der Zwillingsbildung an wird das Präparat meist von Sprüngen durchzogen. Ähnlich verhält sich der **Leucit**, wie wir später sehen werden.

Es ist wahrscheinlich, dass die Zwillingslamellen durch Druck in den Krystallen entstehen, und dass die Druckkräfte durch die Volumänderung erzeugt werden.

Wir haben oben hervorgehoben, dass die Umwandlung aus einer Modification in die andere mit einer Volumänderung verbunden ist. Wenn diese gering ist, kann die Umwandlung innerhalb der Form des Krystalls vor sich gehen, ohne dass diese zerstört wird. Sind aber die Volumänderungen stärker und das Volumen der neuen Modification z. B. grösser, so hat diese in der Form keinen Raum mehr, sie drückt gegen die Wände und sprengt die Form, und es entstehen hierdurch die Risse.

Es ist aber eine bekannte Thatsache, dass, wenn auf Krystalle ein Druck ausgeübt wird, in denselben Zwillingslamellen entstehen können. Allgemein bekannt ist diese Eigenschaft von Kalkspath; viele andere Fälle sind in der neueren Zeit namentlich durch die in dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie von 1883 an veröffentlichten Untersuchungen von O. **Mügge** bekannt geworden.

Gegen unsere Annahme könnte vielleicht der Einwand erhoben werden, dass der Druck, welcher in diesen Krystallen die Zwillingslamellen hervorruft, stärker ist, als er bei der Umwandlung von einer Modification in die andere vorausgesetzt werden kann, obwohl in einigen Fällen, z. B. beim Brombaryum, schon durch ganz gelinden Druck Zwillingslamellen entstehen.

Um jedoch diesen Einwand zu widerlegen, könnte man auf Beobachtungen von O. **Lehmann** (l. c. p. 370) hinweisen, welche uns zeigen, dass schon während des Wachsthums eines zur Trichitenbildung neigenden Krystalls in Folge der bei Verdickung und Geradestreckung von Trichiten auftretenden Spannungen Risse eintreten und ein Zerspringen oft stattfindet. Er hebt hervor, dass es geradezu merkwürdig wäre, wenn diese Deformationen nicht zur Bildung von Zwillingslamellen Anlass geben würden und hält es für sehr wahrscheinlich, dass auf dieser Ursache die bei Chlorbaryum häufig zu beobachtende Zwillingsstreifung beruhe. Wenn aber der bei der Streckung von Trichiten zur Geltung kommende Druck schon hinreicht, Zwillingslamellen

[1]) Bull. min. V. p. 214. 1882.
[2]) N. Jb. 1884, I. p. 68 u. 204.

hervorzurufen, so werden wir dies erst recht erwarten dürfen von dem Druck, welcher in Folge der mit der Umwandlung verbundenen Volumänderung von der neuen Modification auf den Rahmen der alten ausgeübt wird und bisweilen so stark ist, dass er die Krystalle zersprengt.

Man darf daher als sehr wahrscheinlich annehmen, dass die vor der Umwandlung auftretenden Zwillingslamellen durch Druck entstehen, und dass die Druckkräfte durch die Volumänderung erzeugt werden. Hiermit stimmt auch ganz überein, dass die Zwillingslamellen erst kurz vor der Umwandlung auftreten, da erst dann stärkere Änderung des Volumens eintritt.

Einige Forscher haben geglaubt, dass enantiotrope Substanzen, wenn sie aus einer Modification in eine andere übergehen, einen plastischen Zustand vorübergehend annehmen. Ein Beweis hierfür liegt bis jetzt nicht vor; nur von Diamant wird angegeben, dass er zwischen den Polen einer starken galvanischen Batterie erweicht, ehe er sich in Graphit umwandelt (Gassiot, Chem. Gaz. 1850, p. 338). Dagegen besitzt die eine oder andere Modification einiger Substanzen eine gewisse plastische Beschaffenheit. So besitzen die gewöhnlichen, bei niedriger Temperatur stabilen, rhombischen Krystalle des reinen salpetersauren Ammoniaks die Eigenschaft, »dass sie sich ähnlich wie ein Faden weichen Harzes in alle möglichen Formen biegen lassen, sobald nur die Deformation hinreichend langsam geschieht. Trotz dieser Biegsamkeit sind aber die Krystalle, ganz ebenso wie ein Harzfaden, sehr spröde, und sobald durch raschen Druck oder Stoss ein kleiner Riss entsteht, setzt er sich sofort durch die ganze Masse hindurch fort und der Krystall zerspringt« (O. Lehmann, Z. Kr. I. p. 110). Ähnlich verhält sich die entsprechende rhombische Modification des salpetersauren Kali; nach einer Beobachtung von Mallard ist auch die hexagonale Modification dieses Salzes plastisch (Bull. min. V. p. 34 des Sep.). Von den Substanzen, die wir zu betrachten haben, kennt man keine plastische Modification und es liegt kein Beweis dafür vor, dass sie bei dem Übergang aus einer in eine andere Modification vorübergehend plastisch werden.

Zur leichteren Übersicht wiederholen wir hier die für uns wichtigsten Eigenschaften dimorpher enantiotroper Substanzen:

1) Die Umwandlung einer Modification in eine andere geht bei einer bestimmten Temperatur vor sich und ergreift, von einem oder mehreren Punkten beginnend, schnell den ganzen Krystall.

2) Bei allmählicher Temperaturänderung kann eine Modification auch weit über die Umwandlungstemperatur hinaus (in positivem und negativem Sinn) lange Zeit existiren.

3) Bei Umwandlung einer Modification in eine andere tritt die neue im allgemeinen in regelmässiger Stellung gegen die erste auf.

4) Ist mit der Umwandlung eine nur geringe Volumänderung verbunden, so entstehen Spannungen, die sich durch Sprünge oder Verschiebungen nach Gleitflächen theilweise ausgleichen. Hierdurch kann auch die Form der Krystalle geringe Änderungen erleiden. Grössere Volumänderungen führen zur Zerstörung der Form.

Boracit.

Literatur.

1. D. Brewster. Ed. J. V. p. 217. 1824.
2. B. Biot, Pol. lam. p. 667. 1841.
3. O. Volger. P. A. 92. p. 77. 1854. Monographie des Boracit. 1855.
4. Th. Scheerer. Der Paramorphismus etc. 1854.
5. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 392. 1868. Manuel, II. p. 4. 1874.
5a. G. Tschermak. Boracit von Stassfurt. T. T. M. 1872. p. 59.
6. E. Geinitz. N. Jb. 1876. p. 484.
7. E. Mallard. Anom. opt. p. 93—100. 1876.
8. H. Baumhauer. Über den Boracit. Z. Kr. III. p. 337—351. 1879 (vorher N. Jb. 1876. p. 607).
9. E. Mallard. Note au sujet de la Boracite. Bull. min. II. p. 147. 1879.
10. C. Klein. Über den Boracit. Gött. Nachr. 1880, No. 2. N. Jb. 1880, II. p. 209—250.
11. H. Baumhauer. Bemerkungen zur vorstehenden Abhandlung (10) bei dem Referat: Z. Kr. V. p. 273—281. 1881.
12. C. Klein. Über den Einfluss der Wärme auf die optischen Eigenschaften des Boracit. Gött. Nachr. 1881. Nr. 3.
13. —— Zur Frage nach dem Krystallsystem des Boracit. N. Jb. 1881, I. p. 239—256.
14. E. Mallard. De l'action de la chaleur sur les cristaux de la Boracite. Bull. min. V. p. 144—159. 1882.
15. —— De l'action de la chaleur sur les substances cristallines. Bull. min. V. p. 216—219. 1882.
16. —— et H. Le Chatelier. Sur la chaleur latente correspondant au changement d'état cristallin de la boracite. Bull. min. VI. p. 122—129. 1883.
17. E. Mallard. Sur la détermination des indices principaux de la boracite. Bull. min. VI. p. 129—134.
18. C. Friedel et J. Curie. Sur la pyroelectricité dans la blende, le chlorate de sodium et la boracite. Bull. min. VI. p. 191—197. 1883.
19. K. Mack. Über das pyroëlectrische Verhalten des Boracits. Diss. Tübingen 1883. Z. Kr. VIII. p. 503—522. 1884.
20. C. Klein. Beiträge zur Kenntniss des Boracit. N. Jb. 1884, I. p. 235—245.
21. H. Baumhauer. Bemerkungen über den Boracit. Z. Kr. X. p. 451—457. 1885.
22. E. Mallard. Sur les hypothèses diverses proposées pour expliquer les anomalies optiques des cristaux. Bull. min. IX. p. 69. 1886.
23. C. Klein. Beleuchtung und Zurückweisung einiger gegen die Lehre von den optischen Anomalien erhobenen Einwendungen. N. Jb. 1887. I. p. 224—235.

Die bei Boracit herrschenden Verhältnisse sind durch die ausführlichen Untersuchungen von C. Klein und die erfolgreichen Experimente von Mallard im wesentlichen klar gestellt, und wir werden bei der Darlegung derselben den Beschreibungen Jener überall folgen, wo unsere Beobachtungen mit denselben übereinstimmen. Dies ist der Fall bei den von vorherrschendem Würfel oder Rhombendodekaëder begrenzten Krystallen. Dagegen sind wir für die tetraëdrischen zu Resultaten gekommen, die mit den Beobachtungen von C. Klein scheinbar in Widerspruch stehen, aber doch mit ihnen sich in Übereinstimmung bringen lassen und geeignet sind, die Verschiedenheiten, welche zwischen den tetraëdrischen und den andern Boracitkrystallen hinsichtlich ihrer Structur zu bestehen scheinen, zu erklären und zu zeigen, dass der Bau aller Krystalle im wesentlichen derselbe ist, wenn man die

Orientirung der rhombischen Modification gegen die Flächen der regulären Form als massgebend betrachtet.

Die äussere Form des Boracit entspricht nach den angestellten Messungen und der mit höchster Regelmässigkeit dem Gesetze der tetraëdrischen Hemiëdrie folgenden Flächenvertheilung ganz den Anforderungen des regulären Systems und der Symmetrie der tetraëdrischen Hemiëdrie.

Im grellen Gegensatz hierzu stehen die optischen Eigenschaften, die starke Doppelbrechung, welche alle Krystalle des Boracit auszeichnet und seit den Tagen Brewster's wiederholt zu Erklärungsversuchen[1] geführt hat. Biot erklärte das Verhalten durch Lamellarpolarisation, Volger und später Des Cloizeaux nahmen an, dass Lamellen einer doppelbrechenden Substanz eingelagert seien, wurden aber von Geinitz widerlegt. Scheerer betrachtete den Boracit als eine polyaxe Paramorphose; Baumhauer (8) suchte durch Ätzung seinen Bau zu entziffern, C. Klein (10. 12. 13) durch optische Untersuchung; erst Mallard (15) löste das Räthsel durch den Nachweis, dass der Boracit in höherer Temperatur einfachbrechend wird und nur unter der Umwandlungstemperatur immer doppelbrechend ist. Die Substanz des Boracit ist daher dimorph und enantiotrop.

Optisches Verhalten.

Das optische Verhalten des Boracit können wir am besten überblicken, wenn wir mit Betrachtung der parallel den Granatoëderflächen geschnittenen Platten beginnen und zuerst nur Krystalle mit vorherrschendem Granatoëder oder Würfel berücksichtigen. Wir folgen der Beschreibung von C. Klein (10).

Platten parallel dem Granatoëder.

Sind die Schliffe aus vorherrschendem Granatoëder nahe der Oberfläche dem Krystall entnommen, so verhalten sie sich wie in Figur 10 auf Taf. I dargestellt.

Ein einheitlich polarisirendes Mittelfeld von rhombischem Umriss wird von vier Paralleltrapezen umgeben, welche die Durchschnitte mit den benachbarten Granatoëderflächen sind.

Der innere Rhombus löscht einheitlich nach den Diagonalen aus, ist optisch zweiaxig, und die Ebene der optischen Axen parallel der längeren Diagonale, die (erste) Mittellinie senkrecht zur Fläche des Granatoëders.

Den scheinbaren Winkel der optischen Axen in Oel hat C. Klein an einem einheitlichen Präparat bestimmt (10, p. 225):

$$2\,H_a = 101^{\circ}\,40'\,\text{Na}:$$

bemerkt aber, dass der Axenwinkel eine sehr schwankende Grösse sei. Wir werden nachher bei Betrachtung der Würfelschliffe finden, dass der wahre

[1] Vergl. oben p. 35 u. 48.

innere Axenwinkel 90° ist. Wir dürfen daher nicht von erster und zweiter Mittellinie sprechen, sondern nur von den Halbirungslinien des optischen Axenwinkels, oder kurzweg der Mittellinie.

Der optische Charakter der zur Schlifffläche normalen Mittellinie ist nach C. Klein negativ, seltener positiv, nach meinen Beobachtungen wohl ebenso oft positiv als negativ; oft wechselt der Charakter in demselben Schliff. Nennen wir je nach dem Charakter der Mittellinie die zu dieser normalen Partien eines Schliffs positiv oder negativ, so kommt es oft vor, dass zwischen die positiven Partien eines Schliffs keil- und zungenförmige Streifen negativer Partien eingelagert sind, und umgekehrt. Sie heben sich von den ersteren im parallelen polarisirten Licht in der Regel durch andere Interferenzfarben ab und unterscheiden sich bei Einführung eines Quarzkeils dadurch von jenen, dass in ihnen die Farben fallen, wenn sie in jenen steigen, und umgekehrt. Die Auslöschung erfolgt in beiden nach den Diagonalen, die Richtung der optischen Axenebene ist in beiden dieselbe. Will man von der Voraussetzung ausgehen, dass im normalen Falle der optische Charakter der zu einer Granatoëderfläche normalen Mittellinie immer derselbe — wir wollen sagen positiv — ist, so kann man die Einlagerung von negativen Partien durch die Annahme erklären, dass sie zu den von der benachbarten, zur Schlifffläche normalen Granatoëderfläche ausgehenden Theilen gehören. Sie würden gegen diese ebenso orientirt sein, wie die andern, positiven Theile im Schliff zur Schlifffläche, und würden demnach von dieser senkrecht zur andern Mittellinie getroffen sein, um die der optische Charakter entgegengesetzt, also negativ sein muss.

Befindet sich das Mittelfeld in der Auslöschungslage, so bemerkt man in demselben fast immer mehr oder weniger zahlreiche, keilförmige Streifen, welche lebhaft polarisiren und dieselbe optische Orientirung haben, wie eins der Randfelder und gleichzeitig mit diesem auslöschen. Im allgemeinen nehmen die Einlagerungen in dem Mittelfeld um so mehr zu, je näher der Krystallmitte der Schliff entnommen ist, so dass die Schliffe aus der Mitte der Krystalle in der Regel complicirter sind, wie die von der Oberfläche. Ein verhältnissmässig sehr einfacher Schliff aus der Mitte eines Krystalls ist in Fig. 10 *a* dargestellt. In der gezeichneten Normalstellung löschen die drei Mitteltheile aus, während vier Randfelder farbig sind. Die Auslöschungen dieser Theile erfolgen unter je 45° zu den Diagonalen des Rhombus. In complicirteren Schliffen greifen alle diese Theile wieder mit unregelmässig zackigen Grenzen oft zungenförmig in einander.

Platten aus würfeligen Krystallen nach ∞O verhalten sich denen aus dodekaëdrischen analog, namentlich auch in Bezug auf die Lage der optischen Axenebene.

Alle Schliffe nach den Granatoëderflächen eines Krystalls verhalten sich im wesentlichen gleich, eine Granatoëderfläche verhält sich optisch wie die andere, d. h. auf jeder ist die Ebene der optischen Axen und die Halbirungslinie des optischen Axenwinkels senkrecht, und die Ebene der optischen Axen

fällt immer in die längere Diagonale des Rhombus, ist demnach der zu dieser Fläche normalen Würfelfläche parallel.

Das Verhalten von Platten nach andern Richtungen kann man sich im wesentlichen ableiten, wenn man sich vorstellt, die Krystalle beständen aus 6, bez. 12 optisch zweiaxigen Pyramiden, deren Spitze in der Mitte des Krystalls und deren Basis nach aussen liegt, mit zur Basis (Granatoëderfläche) normalen Mittellinie, und daran denkt, dass die angenommenen Pyramiden nicht scharf abgegrenzt sind, sondern mit unregelmässigen kammförmigen Grenzen tief in einander greifen.

Platten parallel dem Würfel.

Die aus Granatoëdern stammenden Schliffe haben quadratische oder oblonge Form und zeigen im polarisirten Licht eine in dem graulich-gelben Ton des Schliffs nur wenig hervortretende Theilung in vier Sectoren nach den Diagonalen der angeschliffenen Würfelfläche. In der diagonalen Stellung sind sie etwas heller wie in der Normalstellung, der Wechsel der Interferenzfarben ist aber nur gering, die Auslöschung keine vollständige.

Auf Axenaustritt untersucht, zeigt ein jeder Sector eine optische Axe, welche anscheinend genau normal zur Plattenebene austritt; die Barren dieser vier Axen sind so gerichtet, wie in Figur 11 (Taf. I) angegeben, wenn das Präparat in der Normalstellung sich befindet. Jeder Barren ist normal zur Randkante des Sectors, welche die Durchschnittskante mit einer Granatoëderfläche darstellt. Alle Würfelflächen eines Krystalls verhalten sich optisch im wesentlichen wieder gleich.

Dass in jedem Sector eine optische Axe austritt, ist nach dem vorher gesagten leicht erklärlich: es ist eine der Axen, die in Schliffen parallel dem Granatoëder beide austreten; die Richtung der Barren, normal zur Randkante eines jeden Sectors, entspricht der Lage der optischen Axenebene auf den Granatoëderflächen. Da in jedem Sector eine optische Axe normal zur Würfelfläche austritt, und die Würfelflächen eines Krystalls sich gleich verhalten, so ist die ihr zugehörige andere optische Axe zu der andern Würfelfläche normal, woraus folgt, dass der innere Winkel der optischen Axen 90° ist.

Platten nach $\infty O \infty$ (100) aus vorherrschend würfeligen Krystallen von Lüneburg verhalten sich insofern etwas anders, als da, wo die natürliche Würfelfläche im Schliff erscheint (Figur 12, das innere Feld), die optische Structur ohne Regelmässigkeit ist, und ein Gewirr von Farben erscheint. Die am Rand gelegenen Partien sind wieder Durchschnitte durch Granatoëderflächen und verhalten sich wie oben angegeben.

Diese einfachen Verhältnisse werden in der Regel dadurch complicirter, dass die Grenzen der Sectoren nicht scharf bleiben, ein oder zwei Sectoren zurücktreten, ganz verschwinden oder unregelmässig in einander greifen. Hierdurch kann es kommen, dass die im convergenten Licht auftretenden Barren auch in der Normalstellung der Platte einer benachbarten Randkante

parallel sind (Figur 13). An den Ecken und auch zwischen den zu einer optischen Axe normalen Partien treten schmalere und breitere Felder auf, welche sich von jenen durch die lebhaften Polarisationsfarben sofort unterscheiden lassen und von den zur Schlifffläche normalen vier Granatoëderflächen ausgehen. Sie sind gegen diese ebenso orientirt, wie die übrigen Theile des Schliffs gegen die zur Schlifffläche geneigten Granatoëderflächen, und würden von der Schlifffläche senkrecht zur optischen Normalen getroffen sein, wovon man sich durch einen Blick auf ein Modell sofort überzeugen kann; bestätigt wird dies durch die optische Untersuchung insofern, als jene Partien im convergenten Licht keinerlei Erscheinung zeigen.

Würfelige Krystalle aus dem Carnallit von Douglashall, begrenzt von $\infty O \infty$ (100) und $\frac{O}{2}$ (111), zeigen in Schliffen nach $\infty O \infty$ von der Oberfläche nach meinen Beobachtungen im parallelen polarisirten Licht vier, an den Durchschnittskanten mit den seitlichen Würfelflächen liegende Theile, welche in allen Lagen eine gleiche graugelbe Farbe beibehalten; zwischen ihnen, namentlich an den vier Ecken, liegen lebhaft polarisirende Theile, welche parallel den Diagonalen auslöschen und wieder von den zur Schlifffläche normalen Granatoëderflächen, bez. deren Richtung ausgehen.

Im convergenten Licht beobachtet man in jedem der vier Felder den Austritt einer optischen Axe normal zur Oberfläche der Platte und die Lage der Barre ist ebenso wie in den Schliffen aus granatoëdrischen Krystallen, sie stellen sich normal zu den Randkanten, wenn die Platte sich in der Normalstellung befindet (vergl. Fig. 25).

Ebenso wie diese verhalten sich nach C. Klein die kleinen, von $\infty O \infty$ (100) und $\frac{O}{2}$ (111) begrenzten Krystalle von Stassfurt; würfelförmige Krystalle von Segeberg zerspringen, wie C. Klein mittheilt, bei dem Schleifen oft wie rasch gekühltes Glas.

Die Lage der Barren in den Schliffen nach $\infty O \infty$ (100) ist, wie aus dem oben mitgetheilten hervorgeht, in den aus würfeligen Krystallen ohne ∞O dieselbe, wie in den Schliffen aus dodekaëdrischen Krystallen mit oder ohne $\infty O \infty$; die Richtung der optischen Axen ist in beiden Typen dieselbe, d. h. die Ebene der optischen Axen ist senkrecht zur Richtung von Granatoëderflächen, auch wenn diese als Flächen am Krystall gar nicht vorhanden sind.

Platten parallel den Flächen der Tetraëder.

Die Schliffe nach den Tetraëdern verhalten sich im wesentlichen gleich, einerlei ob sie würfeligen oder granatoëdrischen Krystallen entnommen sind.

Sie zerfallen im allgemeinen in drei Felder, deren Grenzen nach den Ecken, nur selten normal zu den Kanten verlaufen, und in der Mitte zusammenstossen, wenn an der betreffenden Ecke keine Tetraëderfläche ausgebildet war (Taf. I, Fig. 14). Ist eine solche vorhanden, so tritt sie im Schliff

als dreiseitiges, mehr oder weniger einheitliches Mittelfeld auf, und die Grenzlinien der Sectoren am Rande gehen von den Ecken des Mittelfeldes nach den Ecken der Platte.

In jedem Feld ist die grösste optische Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante, oft auch parallel zu derselben; bisweilen ist sie in manchen Theilen eines Feldes senkrecht, in andern Theilen desselben Feldes parallel zur Randkante. Dies Verhalten stimmt ganz überein mit dem, was wir bei den Granatoëderschliffen kennen gelernt haben. Die Randkanten der Tetraëderschliffe aus ∞O z. B. sind Combinationskanten mit ∞O und gehen der langen Diagonale, also der Richtung der optischen Axenebenen parallel. In der Ebene der Granatoëderschliffe fällt aber bald die grösste, bald die kleinste Elasticitätsaxe in die optische Axenebene, und dieser Wechsel tritt uns in den Tetraëderschliffen wieder entgegen.

Schnitte aus der Mitte eines Granatoëders haben sechsseitigen Umriss und zeigen entsprechend sechs Felder (Fig. 15). Wird ein Granatoëder parallel einer Tetraëderfläche in mehrere Platten zerschnitten, so zeigen alle, wie C. Klein hervorhebt, ein normales Verhalten, d. h. eine von der Zahl der durchschnittenen Granatoëderflächen abhängige Feldertheilung.

Complicationen entstehen besonders durch das gleichzeitige Auftreten von Feldertheilung nach den Ecken und nach den Kanten (Fig. 16) und dadurch, dass die Grenzen der Sectoren undeutlich werden. Die einzelnen Felder greifen oft in einander über, keilen sich in einander ein, das eine oder andere Feld tritt an Ausdehnung mehr oder weniger zurück, kurzum, auch diese Schliffe können öfters scheinbar höchst unregelmässige Erscheinungen darbieten.

Schliffe aus Krystallen mit vorherrschendem Tetraëder oder mit zwei Tetraëdern sollen sich nach der Beschreibung von C. Klein anders verhalten, als die aus vorherrschendem Würfel und Granatoëder, namentlich soll dies in Schliffen nach dem Würfel im convergenten Licht hervortreten, wenn diese der Mitte der Krystalle entnommen sind. Alsdann sollen die Barren in der Normalstellung der Platten, d. h. wenn die Durchschnittskanten von Würfel zu Würfel oder zu Granatoëder mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen, nicht normal zu diesen Kanten stehen, sondern parallel. In jedem Sector würde die Ebene der optischen Axen nicht senkrecht, sondern parallel zur Kante $\infty O \infty / \infty O$ sein, würde demnach in der anliegenden Granatoëderfläche nicht parallel der langen Diagonale des Rhombus sein können.

Da mir die hier in Betracht kommenden Verhältnisse aus der Beschreibung nicht ganz klar geworden sind, theile ich meine eigenen Beobachtungen, soweit sie von denen C. Klein's abweichen, mit.

Platten parallel dem Würfel.

Einen Boracitkrystall von Lüneburg, begrenzt von dem vorherrschenden $\frac{O}{2}$ (111), von $\infty O \infty$ (100) und ∞O (110), habe ich nach einer Würfelfläche in vier Theile zerschnitten, welche einen klaren Einblick in die optische Structur gestatten.

Der erste Schliff nach dem Würfel (Taf. I, Fig. 17) war auf der einen Seite von der natürlichen Fläche begrenzt und wurde nur so dünn geschliffen, dass von jeder der vier durchschnittenen Granatoëderflächen noch Theile im Schliff erhalten blieben.

Der Umriss der Platte ist sechsseitig, die langen Kanten rühren von den durchschnittenen Tetraëder-, die vier kurzen von den Granatoëderflächen her.

Im parallelen polarisirten Licht wird der grössere Theil der Platte gleichmässig hell, die Auslöschung erfolgt nach der langen Kante. An jeder der kurzen, granatoëdrischen Kanten liegt ein kleines Feld, welches in allen Lagen der Platte einen gleichmässig gelblichen Ton beibehält.

Im convergenten Licht beobachtet man in jedem dieser vier kleinen Felder den Austritt einer optischen Axe normal zur Plattenoberfläche, die Barre stellt sich in jedem Feld normal zur kleinen Randkante, wenn diese einer Schwingungsrichtung der Nicols parallel geht (Fig. 17, eine Schwingungsrichtung ist durch eine gestrichelte Linie angedeutet).

Dies Verhalten ist ganz analog dem der Platten aus granatoëdrischen und würfeligen Krystallen: hier wie da stellen sich die Barren normal zu den Durchschnittskanten mit den Granatoëderflächen.

Die mehr der Mitte des Krystalls entnommenen Schliffe sind dadurch complicirter, dass die zur optischen Axe normalen Partien unregelmässig über den ganzen Schliff vertheilt sind und häufig so liegen, dass die Barren nicht mehr normal zur benachbarten kurzen Kante sich einstellen, sondern parallel zu ihr, so dass durch dies Verhalten jene abweichende Auffassung erklärt wird. Aber dies sind offenbar nur Unregelmässigkeiten, wie wir sie in den andern Würfelschliffen auch kennen gelernt haben, wo ja auch durch Verschiebung der Grenzen die Barren öfters parallel den Kanten waren.

Diese beiden Schliffe aus dem Innern sind, entsprechend ihrer Aufeinanderfolge im Krystall, in Fig. 18 und 19 dargestellt.

Die langen Kanten sind die Durchschnitte mit dem Tetraëder, die kurzen mit dem Würfel. Die Stellung der Barren gegen die kurzen Kanten habe ich eingezeichnet, wieder für den Fall, dass diese den Schwingungsrichtungen der Nicols parallel gehen (die Richtung dieser ist wie vorher durch die Linien angegeben). Man sieht, dass selbst in diesen beiden Platten, die doch im Krystall unmittelbar auf einander folgten, die Vertheilung der zu einer optischen Axe normalen Partien recht verschieden ist. In dem in Fig. 19 dargestellten Präparat überwiegen noch an zwei Kanten die Theile, in welchen die Barre sich normal zur Kante stellt, es kommen aber auch schon solche

vor, in denen die Barre sich parallel stellt; in der Nähe der dritten Kante liegt eine Partie, in welcher die Barre parallel zur Kante ist, und an der vierten Kante fehlen überhaupt normal zur Axe getroffene Theile. Figur 18 zeigt einen noch häufigeren Wechsel in der Barrenstellung, und die Partien, in denen die Barre sich parallel zu der benachbarten kurzen Kante stellt, sind grösser wie vorher; aus der Figur ist dies ohne weiteres zu ersehen.

Von dem oft plötzlichen Umspringen der Barrenrichtungen kann man sich sehr gut überzeugen, wenn man das Präparat parallel mit sich selbst unter dem Mikroskop verschiebt. Befindet sich gerade eine Grenze von zwei abweichend orientirten Theilen unter dem Mikroskop, so wechselt schon bei einer geringen Verschiebung nach der einen oder andern Seite die Richtung der Barre.

Die zwischen den zu einer optischen Axe normalen Partien liegenden Theile polarisiren lebhaft und löschen nach den langen Kanten aus; sie gehen wieder von den zur Schlifffläche normalen Granatoëderflächen aus, es gilt für sie das oben bei den Würfelschliffen gesagte.

Der vierte Schliff von der andern Oberfläche verhält sich wie der erste.

Aus diesen Schliffen sehen wir, dass die Vertheilung der gleich orientirten Partien um so unregelmässiger ist, je näher der Mitte die Schliffe entstammen. Am einfachsten liegen die Verhältnisse in den nahe der Oberfläche entnommenen Platten. Diese zeigen uns, dass die im convergenten Licht hervortretenden Barren sich normal zur kurzen Kante stellen, wenn diese einer Schwingungsrichtung der Nicols parallel geht, und die Lage der Barren in jedem der vier Felder weist darauf hin, dass die Ebene der optischen Axen in der je einem Felde anliegenden Granatoëderfläche in die Richtung der langen Diagonale des Rhombus fallen würde, ganz wie bei Krystallen mit vorherrschendem Würfel oder Granatoëder.

Platten parallel dem Granatoëder.

Ein Schliff aus $+\frac{O}{2}$ (111) und $-\frac{O}{2}$ $(1\bar{1}1)$ annähernd im Gleichgewicht, und untergeordnetem ∞O (110), $\infty O \infty$ (100), zeigte, $\|\infty O$ (110) der Oberfläche des Krystalls entnommen, das in Fig. 20 und 21 dargestellte Verhalten.

Der Schliff war wieder nur so dünn geschliffen, dass Theile der vier durchschnittenen Granatoëderflächen noch erhalten waren. Die langen Kanten sind Durchschnitte mit den Tetraëder-, die mittleren mit den Würfel- und die kurzen mit den Granatoëderflächen.

Wenn die langen Kanten mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfallen, so befindet sich ein Zwickel in Auslöschung. In ihm treten im convergenten Licht beide Axen aus, die Ebene der optischen Axen ist parallel der langen Kante (Fig. 20), oder in Bezug auf die Granatoëderfläche parallel der langen Diagonale des Rhombus.

Nach einer Drehung um 45° ist dieser Zwickel hell, dagegen befindet sich an jeder der kurzen granatoëdrischen Kanten ein kleineres oder grösseres Feld ohne regelmässige Begrenzung in Auslöschung (Fig. 21). Die zwischen dem Zwickel und den vier Feldern gelegenen Theile werden in keiner Lage dunkel, weil in ihnen Partien verschiedener Orientirung sich überlagern.

Wenn wir diesen Schliff mit den aus vorherrschendem Granatoëder nach ∞O (110) angefertigten vergleichen (Fig. 10), so sehen wir, dass in beiden dieselben Theile wiederkehren: der Zwickel, senkrecht zur Mittellinie getroffen, entspricht dem einheitlichen Mittelfeld, die vier Felder an den kurzen Kanten den vier Paralleltrapezen am Rande. Hier wie da rühren die am Rand liegenden Felder von den vier durchschnittenen Granatoëderflächen her und bestehen aus nach diesen orientirter Substanz. Wir sehen aber zugleich, dass diese Felder in den tetraëdrischen und octaëdrischen Krystallen viel unregelmässiger in einander übergreifen als in den andern. Dasselbe, was uns die Würfelschliffe gelehrt haben, finden wir hier wieder.

Diese Beobachtungen stimmen anscheinend mit denen von C. Klein nicht überein, ich glaube aber, dass die letzteren doch nach diesen erklärt werden können.

Nach C. Klein erscheint in Schliffen nach ∞O (110) auf der natürlichen Fläche eine, oft nur mit einem Gypsblättchen noch eben zu erkennende, sich oft wiederholende Theilung parallel der Combinationskante von Rhombendodekaëder zu Würfel. Die Auslöschungen erfolgen zu dieser Kante unter nahezu 45°. Unter 45° zu der entsprechenden Kante löschen aber auch in unserem Schliff die an den kurzen Kanten liegenden Felder aus, und ich glaube daher, dass diese einander entsprechen, und beide Schliffe sich nur dadurch von einander unterscheiden, dass die zur Mittellinie normalen Partien in den Schliffen von C. Klein gefehlt haben, weil sie nicht genau in dem Bezirk der Granatoëderfläche lagen. In den Schliffen aus der Mitte hat sie auch C. Klein beobachtet.

Schliffe nach ∞O (110) aus der Mitte tetraëdrischer oder octaëdrischer Krystalle habe ich so gefunden wie C. Klein beschreibt:

In einem Flächenfeld mit den ebenen Winkeln von 109° 28′ und 70° 32′ erscheinen wieder die Theile, welche unter 45° gegen die langen Kanten auslöschen und ihnen zur Seite solche, welche senkrecht zur Halbirungslinie des optischen Axenwinkels sind (Fig. 22). Die Ebene der optischen Axen liegt parallel der kürzeren Diagonale des Rhombus; hierbei ist aber wohl zu bemerken, dass dieser Rhombus von den Durchschnittslinien mit den Tetraëderflächen gebildet wird. Auf die Granatoëderfläche bezogen, zu welcher parallel der Schliff angefertigt ist, würde die Ebene der optischen Axen in die Richtung der langen Diagonale des Rhombus fallen, wie bisher immer.

Platten nach den Flächen der Tetraëder.

Schliffe nach den Flächen der Tetraëder aus vorherrschenden $+\frac{O}{2}$ (111), $-\frac{O}{2}$ (1̄11) und untergeordnetem ∞O (110), $\infty O \infty$ (100) zeigen nach C. Klein, mit dessen Beobachtungen die meinigen übereinstimmen, vorwiegend Dreitheilung nach den Seiten und nur untergeordnet auch solche nach den Ecken.

In den Figuren 23 und 24 auf Tafel I ist das Verhalten zweier solcher Schliffe dargestellt, die ohne weiteres verständlich sind.

Da die bisher betrachteten Schliffe aus tetraëdrischen Krystallen gezeigt haben, dass ihr von den dodekaëdrischen und würfeligen Krystallen abweichendes Verhalten durch unregelmässigeres Ineinandergreifen der verschieden orientirten Partien entsteht, dass aber die optische Orientirung, namentlich die Richtung der optischen Axenebene und der Mittellinie in allen Krystallen wesentlich dieselbe ist, gleichgültig ob Dodekaëder, Würfel oder Tetraëder vorherrschen, so wäre es auffallend, wenn die Schliffe nach den Flächen der Tetraëder eine mit den andern nicht in Übereinstimmung zu bringende Structur erkennen liessen.

In der That ist die Dreitheilung nach den Seiten, wenn man nur die Orientirung, nicht die Vertheilung der Partien berücksichtigt, nicht wesentlich verschieden von der Dreitheilung nach den Ecken. In allen Fällen erfolgt die Auslöschung der doppelbrechenden Felder parallel zu den Durchschnittskanten von $\frac{O}{2}$ mit ∞O (oder mit Gegentetraëder), bei Dreitheilung nach den Ecken liegen die doppelbrechenden Felder diesen Kanten an (vergl. Fig. 14), bei Dreitheilung nach den Seiten ihnen mit ihrem grösseren Theil gegenüber, reichen aber mit schmaleren Streifen fast immer bis an die Kanten heran (vergl. Fig. 23). Wenn man daher annimmt, dass hier die Theile verschoben sind, so stimmen diese Schliffe mit denen aus dodekaëdrischen und würfeligen Krystallen überein, in denen übrigens, wie wir gesehen haben, auch Dreitheilung nach den Seiten vorkommt (vergl. Fig. 16).

Die Krystalle mit vorherrschendem Tetraëder verhalten sich daher in Rücksicht auf die optische Orientirung ebenso wie die mit vorherrschendem Granatoëder oder Würfel, sie unterscheiden sich von diesen dadurch, dass die verschieden orientirten Theile unregelmässiger in einander und durch einander greifen und sich verschieben; immer aber sind die Ebenen der optischen Axen senkrecht zur Richtung von Granatoëderflächen und parallel der langen Diagonale des Rhombus, und die Würfelflächen sind immer senkrecht zu optischen Axen. Niemals ist eine Mittellinie senkrecht zu einer Würfelfläche, niemals eine optische Axe senkrecht zu einer Dodekaëderfläche austretend gefunden worden; wo eine bestimmte Orientirung der Theile zu erkennen war, war es immer die oben angegebene.

Ich spreche hier absichtlich nicht von Zwillingsverwachsungen, da es mir naturgemäss erscheint, bei der Beschreibung hervorzuheben, in welcher Weise die neue Modification in der Form der ersten gegen diese orientirt ist, als die Art der Gruppirung auf Zwillingsverwachsungen von Krystallen zurück zu führen, deren Form man nicht kennt. Ich glaube, dass die Meinungsverschiedenheiten über den Bau der Boracitkrystalle, speciell der tetraëdrischen, nur dadurch entstanden sind, dass man versucht hat, dieselben als Zwillingsverwachsungen zu deuten.

In vielen Boracitkrystallen beobachtet man ein nach den Ebenen der Granatoëderflächen eingelagertes Gerüst, welches von der übrigen Masse durch einen etwas andern Glanz sich abhebt und namentlich bei beginnender Verwitterung hervortritt. Ich habe einen Boracit gesehen [1]), von dessen Substanz nur noch gleichsam die Kanten des Granatoëders übrig waren, die andere Masse war bereits vollständig verschwunden. Jedenfalls ist also die Masse, welche das Gerüst bildet, widerstandsfähiger als die Hauptmasse des Boracit.

Ob nun das Gerüst sich zuerst gebildet habe und dann von der Krystallmasse ausgefüllt sei und auf diese einen orientirenden Einfluss ausgeübt habe, können wir nicht wissen. Nach unserer Auffassung kann man das Gerüst als die Grenze ansehen, an welcher die verschieden orientirten Theile an einander stossen. An der Grenze würden sie vielleicht dichter gedrängt sein und deshalb der Verwitterung grösseren Widerstand leisten können, als die übrige Masse, und hierdurch würde das Gerüst entstehen und hervortreten.

Der auf verschiedenem Wege künstlich dargestellte Boracit verhält sich optisch wie der natürliche. Ganz kürzlich erst hat A. de Gramont [2]) hierüber etwas veröffentlicht. Er hat ein Gemenge von zwei Theilen Chlormagnesium und einem Theil gewöhnlichen Borax mit wenig Wasser in eine Glasröhre eingeschlossen und dies 2—3 Tage lang einer Temperatur von 275—280° ausgesetzt. Hierdurch bildeten sich mikroskopisch kleine tetraëdrische und octaëdrische Kryställchen, welche in ihren Eigenschaften mit denen des natürlichen Boracit übereinstimmen und ebenso wie dieser doppelbrechend sind. Auf diese Weise scheint der Boracit sich nur bei einer 265° übersteigenden Temperatur bilden zu können; zwischen 200 und 240° bildeten sich dagegen länglich sechseckige Kryställchen, welche wahrscheinlich rhombisch und nach einer Axe verlängert sind; Auslöschung erfolgt parallel der Längsrichtung. Zur Analyse reichte das Material dieser Kryställchen nicht aus. Nach Vermuthung von A. de Gramont haben wir hier vielleicht die rhombische Modification der Boracitsubstanz vor uns. Es wäre sehr interessant, wenn dies weiter verfolgt und bestätigt werden könnte.

---

[1]) In der Sammlung des mineralogischen Instituts zu Marburg.

[2]) Production artificielle de la Boracite par voie humide. Bull. min. XIII. p. 252. 1890.

Einfluss der Wärme auf Boracit.

C. Klein (12) hat zuerst den Boracit bei höherer Temperatur untersucht und hiermit den Weg betreten, welcher zu einer neuen Auffassung seines inneren Baues führte. Er erwärmte Dünnschliffe von Boracit auf einer Glasplatte über einer Gasflamme bis über 200° C. und brachte sie auf einer kühleren Platte unter das Mikroskop. Es zeigte sich nun, dass der Zustand, die Abgrenzung der optisch differenten Felder und Lamellen, nicht mehr derselbe war, wie vor der Erwärmung, sondern dass die Grenzlinien der einzelnen Felder sich verschoben hatten und oft völlig verschwunden waren, um entweder nicht wieder zu kommen oder an ganz andern Stellen, nicht selten auch in anderen Richtungen, wieder zu erscheinen.

Durch diese interessanten Resultate wurde E. Mallard (15) veranlasst, die Versuche zu wiederholen und weiter zu verfolgen und machte nun bald die wichtige Entdeckung, dass der Boracit bei höherer Temperatur einfachbrechend wird, bei dem Abkühlen wieder doppelbrechend. Wir geben seine Beschreibung des Vorgangs mit seinen eigenen Worten (p. 23 d. Sep.-Abz.) wieder:

»A 300°, la lame est encore colorée des teintes les plus vives, lorsqu'un phénomène brusque se produit. On voit apparaître comme une goutte d'encre attaquant la lame par la partie qui, en vertu de sa position s'échauffe la première, et se répandant ensuite sur toute sa surface dont elle éteint complètement toutes les couleurs. La lame paraît ensuite absolument noire entre les nicols croisés. Elle n'a cependant perdu en rien sa transparence, car entre les nicols parallèles elle laisse passer la lumière comme auparavant, et si l'on superpose une lame sensible, entre les nicols croisés, la lame cristalline n'en modifie nullement la teinte. La lame de boracite est donc devenue subitement et parfaitement uniréfringente pour toutes les couleurs.«

Wenn man diesen Versuch unter dem Mikroskop auf einem heizbaren Objecttisch anstellt, so bemerkt man, dass, einige Zeit bevor die Umwandlung eintritt, die Interferenzfarben der Platte sich ändern. Sehr gut sieht man dies an Schliffen parallel dem Würfel. In ihnen sind immer Partien vorhanden, die normal zu einer optischen Axe sind und daher bei gekreuzten Nicols in allen Lagen gleichmässig hell gelblich oder graulich erscheinen. Wenn man erwärmt, treten in diesen Theilen plötzlich kleine Flecken hervor, die lebhafte Polarisationsfarben zeigen, bei dem Drehen vollkommen auslöschen und daher nicht mehr normal zu einer optischen Axe sind. Bei fortgesetzter Erhitzung nehmen diese Theile immer an Ausdehnung zu und schliesslich findet man kaum noch eine Stelle, die normal zu einer optischen Axe ist. Kurz darauf rollt von einer Ecke her gleichsam ein schwarzer Vorhang über die Platte, und der Boracit ist einfachbrechend geworden.

Bei dem Abkühlen wird er wieder doppelbrechend; zunächst herrschen noch die lebhaft polarisirenden Theile vor, bald werden sie kleiner und nach etwa 15 Minuten zeigt der grössere Theil der Platte wieder die grauliche, in allen Lagen gleiche Interferenzfarbe, ein Zeichen, dass diese Partien wieder

normal zu einer optischen Axe sind. Jedoch ist häufig die gegenseitige Abgrenzung und Ausdehnung der verschieden orientirten Theile, wie schon C. Klein bemerkte und Mallard durch Abbildungen veranschaulichte (14), vor und nach der Erhitzung verschieden.

Die vor der Umwandlung in die reguläre Modification eintretenden Veränderungen des optischen Verhaltens scheinen mir darauf zu beruhen, dass bei der hohen Temperatur der optische Axenwinkel sich ändert; während vor der Erwärmung eine optische Axe normal zur Würfelfläche ist, wird sie durch die Temperaturerhöhung verschoben, und in den betreffenden Partien beobachtet man alsdann dieselben Interferenzfarben, wie in den andern, von Anfang an zu keiner optischen Axe normalen Theilen.

Die Temperatur, bei welcher die einfache Lichtbrechung auftritt, wurde später von E. Mallard und Le Chatelier nach zwei verschiedenen Methoden genauer bestimmt, und als Werth 264°,8 und 264°,9 gefunden. Dieselben Forscher stellten ferner fest, dass mit der Umwandlung eine Wärmewirkung verbunden ist, und die absorbirte Wärme etwa 4,77 Calorien beträgt.

Die Volumänderung, welche mit der Umwandlung der regulären Modification in die rhombische verbunden ist, ist jedenfalls nur gering, da im andern Fall die Form nicht würde erhalten bleiben; sie ist aber doch gross genug, um in den Krystallen einen Spannungszustand hervorzurufen, der sich äusserlich in der grossen Sprödigkeit und dem leichten Zerspringen der Krystalle zu erkennen giebt. C. Klein hebt wiederholt hervor, dass namentlich die Boracitkrystalle von Segeberg beim Anschleifen wie gekühltes Glas springen.

Pyroëlektrisches Verhalten des Boracit.

Das pyroëlektrische Verhalten des Boracit hat K. Mack (19) nach der von A. Kundt[1] angegebenen Methode, durch Bestäuben mit Schwefel-Mennigepulver untersucht.

Das Auftreten der Elektricität entspricht im allgemeinen der tetraëdrischen Hemiëdrie; die würfeligen und rhombendodekaëdrischen Krystalle, sowie die nur ein Tetraëder zeigenden von Stassfurt entwickeln an den ungleich ausgebildeten Enden der trigonalen Axen Elektricitäten von entgegengesetzten Zeichen; bei den scheinbar octaëdrischen Krystallen von Lüneburg dagegen haben die an den Enden der genannten Axen entwickelten Elektricitäten gleiches Zeichen[2]).

Die im Beginn der Abkühlung auftretende Elektricität wechselt bei weiterer Abkühlung häufig ihr Zeichen, das angezogene Pulver fliegt ab und bald darauf überziehen sich die vorher gelben Ecken mit Mennige, und die vorher

---

[1]) Sitzungsber. d. Berl. Akad. v. 8. März 1883.

[2]) Wegen dieses Verhaltens glaubt W. G. Hankel (Abhandl. d. K. S. Ges. d. Wiss. XXIV. p. 320. 1887), dass Zwillingsverwachsung von zwei gleichnamigen, aber in ihrer Stellung um 90° verschiedenen Tetraëdern vorliege. Leider bin ich auf diese Abhandlung erst spät — und zwar durch Herrn Geheimrath Hankel selbst — aufmerksam geworden, konnte sie daher im Text nicht mehr besprechen.

rothen mit Schwefel. Die Temperatur, bei welcher der Wechsel eintritt, scheint nicht constant zu sein und meist über 100° zu liegen.

Sehr bemerkenswerth ist der Zusammenhang zwischen dem Verlauf der elektrisch erregten Theile und der Grenzen der optisch differenten Felder. Die Elektricität ist nämlich auf den Boracitkrystallen im allgemeinen nicht über ganze Flächen, sondern längs einzelner Linien vertheilt, und diese Linien, als Bestäubungslinien hervortretend, fallen mit den Grenzen der optisch differenten Felder zusammen, wie die Figur 26 auf Tafel I (nach Mack) zeigt.

Der Zusammenhang zwischen dem optischen und elektrischen Verhalten erstreckt sich aber, wie die Versuche von Friedel und Curie (18) gezeigt haben, noch weiter, indem bei derselben Temperatur von 265°, bei welcher der Boracit einfachbrechend wird, auch die Elektricität vollständig verschwindet. Von den genannten Forschern wurde ein Boracitkrystall in Oel auf 300° erhitzt und alsdann langsam abgekühlt; dabei zeigte sich zunächst keine Elektricität. Als aber die Temperatur auf 265° gesunken war, zeigte sich plötzlich eine starke Elektricitätsentwicklung, welche bei weiterem Abkühlen nach einigen Schwankungen wieder verschwand.

Dies eigenthümliche elektrische Verhalten des Boracit kann man nach dem Vorgang von K. Mack mit Berücksichtigung der nach ihm gemachten Beobachtungen etwa wie folgt erklären:

Bei der Umwandlung der regulären Modification in die rhombische entstehen Spannungen, weil die reguläre Form für die rhombische nicht genau passt. Die Beträge der Spannungen müssten in den schmalen Streifen, welche die früher erwähnten optischen Felder trennen und an welchen die verschieden orientirten Theile zusammenstossen, verschieden sein von den in den anliegenden Feldern herrschenden.

Contractionen und Dilatationen sind aber, wie die Herren J. und P. Curie experimentell nachgewiesen haben[1]), bei einer grossen Zahl von Krystallen, welche zugleich pyroëlektrisch sind, von Elektricitätsentwicklung begleitet. Die bei der Contraction einerseits, bei der Dilatation andererseits entwickelten Elektricitäten haben entgegengesetztes Zeichen. Zu diesen Krystallen gehört nach den Beobachtungen der genannten Forscher auch der Boracit. J. und P. Curie haben aus ihren Versuchen den Schluss gezogen, dass das Auftreten der Pyroëlektricität nur bedingt ist durch die Spannungsänderungen, welche die Temperaturänderungen begleiten.

Zu demselben Resultat ist W. C. Röntgen[2]) durch seine Untersuchung der elektrischen Eigenschaften des Quarzes gekommen. Die in sehr verschiedener Weise, sei es durch Wärmeleitung, Strahlung oder Druckänderung hervorgebrachte Elektricitätsentwicklung lässt sich nach diesem Forscher auf eine gemeinsame Ursache und namentlich auf eine Änderung der im Krystall in irgend einer Weise erzeugten Spannungen zurückführen.

---

[1]) C. r. 1880, II. p. 294. Z. Kr. VI. p. 281.

[2]) XXII. Ber. d. Oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilkunde. p. 181. Giessen 1883.

Wenn die Richtigkeit dieser Hypothese vorausgesetzt werden darf, so führen die elektrischen Erscheinungen des Boracit zu der Annahme, dass bei Temperaturänderung die Spannungen in den Ebenen am stärksten sich ändern, in welchen verschieden orientirte Theile an einander stossen.

Wird aber der Boracit auf 265° und höher erhitzt, so geht die rhombische Modification in die reguläre über, die Substanz passt jetzt in die Form, und die Spannungen sind verschwunden. Temperaturänderungen über 265° sind daher nicht mehr von Spannungsänderungen und darum auch nicht von elektrischer Erregung begleitet.

Die Aetzfiguren des Boracit.

Die Methode der Aetzung ist besonders von H. Baumhauer und C. Klein angewandt worden, um den Bau der Boracitkrystalle zu entziffern. Die Angaben beider Forscher weichen aber wesentlich von einander ab.

H. Baumhauer betont, dass er auf optisch ungleichen Flächentheilen einer Platte verschiedene Aetzfiguren beobachtet habe, C. Klein hebt dem gegenüber wiederholt hervor, dass die von ihm beobachteten Aetzfiguren auf Würfel-, Tetraëder- und Rhombendodekaëderflächen innerhalb eines und desselben Flächenfeldes, trotz dessen optischer Verschiedenheit, überall gleich gewesen seien. Beide Forscher haben bis in die neueste Zeit an ihren Ansichten festgehalten (21. 23).

Würde die Ansicht von C. Klein richtig sein, so würde man aus den Aetzfiguren die gegenseitige Lage der verschieden orientirten Theile nicht bestimmen können, während dies möglich wäre, wenn die Ansicht von Baumhauer richtig ist.

Zur Beurtheilung dieser Verhältnisse muss man sich erinnern, dass die Grösse, Form und, innerhalb der Symmetrie der geätzten Fläche, auch die Lage der Aetzfiguren auf derselben sehr verschieden sein kann und von der Zusammensetzung, Concentration und Temperatur des Aetzmittels, und von der Dauer der Einwirkung abhängt. Speciell bei Boracit werden die Verhältnisse noch complicirter durch seine eigenthümliche Structur. Wie nämlich C. Klein gefunden hat (10), wird durch die Aetzung ein System von einander parallelen Kanälen und Röhren[1]) von quadratischem oder rhombischem Querschnitt aufgedeckt, die alle entweder normal oder annähernd normal zu je einer der Flächen von ∞O (110) stehen. Wo sie im Schnitt normal getroffen werden, entstehen Durchschnitte von rhombischem Umriss, die vom Aetzmittel anders angegriffen werden, als die umgebende Masse, und daher leicht für Aetzfiguren gehalten werden können, aber keine sind. Hierzu kommt noch, dass die Aetzfiguren so klein sind, dass sie erst bei einer 250-fachen Vergrösserung deutlich werden.

1) Diese Hohlräume sind vielleicht entstanden bei der Umwandlung der regulären Modification in die rhombische, welch' letzterer alsdann ein kleineres Volumen, also ein höheres specifisches Gewicht zukommen müsste.

Um mir über die Beschaffenheit und Lage der Aetzfiguren auf optisch differenten Feldern ein Urtheil zu bilden, habe ich kleine Krystalle von Douglashall nach der Angabe von Baumhauer[1]) geätzt.

Die auf der natürlichen Würfelfläche entstandenen Aetzfiguren hatten rechteckigen oder quadratischen Umriss, und ihre Durchschnittskanten mit der Würfelfläche, in welche sie eingesenkt waren, gingen der Kante $\infty O \infty / O$, also den Diagonalen der Würfelfläche parallel.

Verfolgt man die Vertheilung der Aetzfiguren an einem Dünnschliff, an welchem die natürliche Würfelfläche erhalten und geätzt ist, im polarisirten Licht, so sieht man, dass diese Ätzfiguren auf den Theilen liegen, welche senkrecht zu einer optischen Axe sind, aber auch auf die hinübergehen, welche nicht so orientirt sind und daher in lebhaften Interferenzfarben erscheinen.

Ausser diesen Ätzfiguren beobachtet man auf derselben Würfelfläche andere von spindelförmiger Gestalt (übereinstimmend mit den Ätzfiguren ε Baumhauer's, vergl. dessen Fig. 12 auf Taf. IX der Z. Kr. III), welche alle mit ihrer Längsrichtung der Combinationskante der Würfelfläche mit dem Tetraëder parallel gehen und ebenfalls sowohl auf den Theilen liegen, welche senkrecht zu einer optischen Axe sind, als auch auf den andern.

Vergleicht man aber die relative Vertheilung der beiden Arten von Ätzfiguren, so findet man, dass die ersteren auf den zu einer optischen Axe normalen Theilen, die andern, spindelförmigen, auf den hiervon abweichend orientirten Theilen entschieden vorherrschen (vergl. Fig. 25 Taf. I). Da, wo beide Arten von Ätzfiguren neben einander liegen, — in der Fig. 25 sind die zu einer optischen Axe normalen Theile durch eingezeichnete Barren von den andern unterschieden — kann man feststellen, entweder, dass in der Nähe eine optische Grenze verläuft, oder dass die Theile, auf welchen sie liegen, weder in allen Lagen den gleichmässig gelblichen oder graulichen Ton beibehalten, noch so vollständig auslöschen, wie die an den Durchschnittskanten mit dem Tetraëder liegenden Theile.

Wenn daher jemand behauptet, auf den optisch differenten Theilen sind die Ätzfiguren verschieden, und die scheinbaren Abweichungen beruhen darauf, dass verschieden orientirte Theile sich überlagern, so wüsste ich nicht, wie ich das Gegentheil beweisen könnte, da solche Übereinanderlagerungen von verschieden orientirten Theilen bei Boracit vorkommen und die geätzten Platten nicht gut so dünn geschliffen werden können, dass nur noch gleich orientirte Theile über einander liegen.

Aus diesem Grunde und den oben angeführten sind die Beobachtungen und Deutungen erschwert; im Anfang glaubte ich die Angaben von C. Klein bestätigt zu sehen, dass gleiche Ätzfiguren auf optisch differenten Theilen liegen; nach genauer Vergleichung und nach Aufzeichnung des Beobachteten

---

[1]) Durch wenige Minuten langes Kochen in einer Mischung von 1 Theil Salzsäure, ½ Theil Schwefelsäure und 6 Theilen Wasser. Z. Kr. V. p. 277.

fand ich jedoch, dass die Ätzfiguren auf den am meisten differenten Theilen sich unterscheiden und nur in den Übergangszonen neben und durch einander liegen.

Nach meinen Beobachtungen würde ich demnach die Ansicht von Baumhauer für richtig halten, dass die Ätzfiguren auf optisch differenten Feldern verschieden sind; ich bemerke jedoch, dass das mir zur Verfügung stehende Material nur spärlich genannt werden muss gegenüber dem von jenen Forschern benutzten, dass ich daher nicht wage, bei den sich widersprechenden Beobachtungen die Frage nach der einen oder andern Seite als ganz allgemein entschieden zu betrachten.

Zusammenfassung der Resultate.

Der Boracit besitzt die wichtigsten Eigenschaften dimorpher enantiotroper Substanzen und wir zählen ihn daher zu diesen.

Seine Substanz befindet sich immer in Formen von regulär-tetraëdrischer Symmetrie und es ist anzunehmen, dass bei seiner Entstehung das optische Verhalten mit der Krystallform in Einklang stand. Über die Verhältnisse, unter denen die Bildung des Boracit vor sich gegangen ist, sind wir noch im Unklaren. Vielleicht waren Substanzen, welche in der Mutterlauge, aus der er sich abgeschieden hat, vorhanden waren, für die Entstehung der regulären Modification förderlich, und es bildete sich diese, ähnlich etwa wie bei Gegenwart von geringen, in Lösung befindlichen Mengen von Gyps, kohlensaurem Baryum oder Strontium aus einer Lösung von doppelkohlensaurem Kalk das Calciumcarbonat als Aragonit sich ausscheidet. Aber einstweilen sind wir hier nur auf Vermuthungen angewiesen. Es ist auch möglich, dass der hohe Druck, unter dem die Krystalle sich gebildet haben, die Entstehung der regulären Modification ermöglichte. Wir haben hierauf schon in der Einleitung zu dieser Gruppe (p. 83) hingewiesen.

Das optische Verhalten des Boracit bei gewöhnlicher Temperatur entspricht dem einer rhombischen Substanz; er ist optisch zweiaxig, und die Halbirungslinie des optischen Axenwinkels immer senkrecht zur Richtung von Granatoëderflächen, einerlei, ob diese am Krystall als Flächen vorhanden sind oder nicht. Die optischen Axen sind normal zu Würfelflächen, einerlei wieder, ob diese am Krystall vorhanden sind oder nicht.

Die Richtungen der Granatoëder- und Würfelflächen sind daher auch für die rhombische Modification von Bedeutung, da die Theilchen derselben sich nach ihnen orientiren; es trifft hier das zu, was wir oben bei Ammoniaksalpeter erwähnt haben, dass bei Umwandlung einer Modification in die andere die neue im allgemeinen in regelmässiger Stellung gegen die erste auftritt.

Die Orientirung der rhombischen Modification der Boracitsubstanz gegen die reguläre ist in der That höchst bemerkenswerth. Es ist nicht nur zu jeder Granatoëderfläche oder ihrer Richtung eine Mittellinie senkrecht, sondern auch jede Würfelfläche ist senkrecht zu vier optischen Axen und der innere Winkel

der optischen Axen 90°. Darum giebt es auch keine erste Mittellinie, sondern nur Halbirungslinien des optischen Axenwinkels, und was für eine Granatoëderfläche die zweite Mittellinie wäre, würde für die dazu senkrechte Granatoëderfläche die erste Mittellinie sein. Ferner ist die Richtung einer jeden Würfelfläche den optischen Axenebenen parallel, welche auf den vier zu dieser normalen Granatoëderflächen senkrecht stehen.

In dieser Weise erfolgt die Orientirung der rhombischen Modification gegen die reguläre, sie erfolgt, auch wenn Würfel und Granatoëder am Krystall nicht vorhanden sind. Nicht diese äusseren Flächen oder ihre Grösse sind für die Orientirung entscheidend, sondern ihre Richtung.

Die Grenzen der verschieden orientirten, den ganzen Krystall aufbauenden Theile sind im allgemeinen nicht regelmässig, und ihre Lage ist nicht constant. Am regelmässigsten ist die Abgrenzung der optisch differenten Theile in den reinen Granatoëdern: von jeder Fläche geht eine Pyramide in den Krystall, in welcher die Halbirungslinie des optischen Axenwinkels normal zur Fläche ist und die Ebene der optischen Axen parallel der langen Diagonale des Rhombus. Aber auch hier schon greifen die »Pyramiden« unregelmässig in einander.

Am unregelmässigsten ist die Abgrenzung in den Krystallen mit vorherrschenden Tetraëdern: die nach den Granatoëderflächen, ebenso wie in den andern Krystallen, orientirten Theile liegen diesen oft nicht direct an.

Die Lage der Grenzen von Theilen mit verschiedener Orientirung wechselt oft bei dem Erwärmen und wird eine andere bei dem Abkühlen der durch Erhitzen einfachbrechend gewordenen Substanz. Die Orientirung gegen die Richtungen der Würfel- und Granatoëderflächen wird aber immer wieder dieselbe, selbst in unregelmässigen Bruchstücken, ein weiterer Beweis, dass nicht diese äusseren Flächen, sondern nur ihre Richtungen für die Orientirung der Theilchen massgebend sind.

Die Grenzen der verschieden orientirten Theile und die Ausdehnung der gleich orientirten werden am schärfsten erkannt durch optische Untersuchung, weniger scharf durch die Pyroëlektricität, am unsichersten durch die Ätzfiguren.

Das Volumen der rhombischen Modification ist von dem der regulären nur wenig verschieden, daher bleibt zwar die Form bei der Umwandlung erhalten, aber innere Spannungen werden hervorgerufen. Temperaturänderungen erzeugen Spannungsänderungen und diese Elektricität.

Durch Erwärmen auf 265° geht die rhombische Modification in die reguläre über, das optische Verhalten der Substanz und ihr Volumen entspricht nun der äusseren Form, die Spannungen sind verschwunden, und Elektricitätsentwicklung findet nicht mehr statt.

Leucit.

Literatur.

1. D. Brewster. Phil. Trans. 108, I. p. 255. 258.
2. —— Ed. J. V. p. 218. 1821.
3. B. Biot. Pol. lam. p. 669—670. 1841.
4. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 513—515. 1867.
5. F. Zirkel. Z. g. G. Bd. 20. p. 97. 1868.
6. G. vom Rath. P. A. Ergänzbd. VI. p. 198—229. 1874.
7. A. Des Cloizeaux. Z. g. G. Bd. 25. p. 566—568. 1873. Manuel, II. p. XXXII. 1874.
8. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 227—250.
9. G. vom Rath. N. Jb. 1876. p. 281 u. 403.
10. J. Hirschwald. N. Jb. 1876. p. 519—525 u. 733—735.
11. G. Tschermak. T. M. M. 1876. p. 66.
12. E. Mallard. Anom. opt. 1876. p. 79—93.
13. H. Baumhauer. Studien über den Leucit. Z. Kr. I. p. 257—273. 1877.
14. J. Hirschwald. Über unsere derzeitige Kenntniss des Leucitsystems. T. M. M. 1878. p. 85.
15. H. Baumhauer. Bemerkungen zu letzterer Abhandlung. Ebenda, p. 287.
16. F. Fouqué et A. Michel-Lévy. Minéralogie micrographique. p. 284. 1879.
17. A. Weisbach. Zur Kenntniss des Leucits. N. J. 1880, I. p. 143—150.
18. P. Hautefeuille. Reproduction de l'amphigène. C. r. 90. p. 313. 1880.
19. —— Sur un silicate de sesquioxde de fer et de potasse, correspondant à l'amphigene. C. r. 90. p. 378. 1880.
20. G. vom Rath. Ungewöhnliche Leucitkrystalle. Sitzungsber. d. niederrh. Ges. für Natur- und Heilkde. 1883.
21. A. Merian. Beobachtungen am Tridymit. N. J. 1884, I. p. 195.
22. C. Klein. Über das Krystallsystem des Leucit und den Einfluss der Wärme auf seine optischen Eigenschaften. Gött. Nachr. 3. Mai 1884. p. 189—136. N. Jb. 1884, II. p. 49. (Auszug.)
23. —— Optische Studien am Leucit. Gött. Nachr. 2. August 1884. p. 421—472 und N. Jb. III. Beilagebd., p. 522. 1885.
24. H. Rosenbusch. Ein Beitrag zur Morphologie des Leucits. N. Jb. 1885, II. p. 59—65.
25. C. Klein. Beiträge zur Kenntniss des Leucits. N. J. 1885, II. p. 234—236.
26. G. vom Rath. Leucit vom Vesuv. Sitzungsber. d. niederrh. Ges. f. Natur- und Heilkde. 6. VI. 1887.
27. E. Mallard. Sur les hypothèses diverses etc. Bull. min. IX. p. 70. 1886.
28. C. Klein. Beleuchtung und Zurückweisung etc. N. Jb. 1887, I. p. 234.

Bei Leucit liegen die Verhältnisse nicht so klar, wie bei Boracit, weil die Krystallform nicht mit derselben Schärfe bestimmt werden kann und weil die Umwandlung in die einfachbrechende Modification erst bei viel höherer Temperatur — bei beginnender Rothgluth — vor sich geht.

Die Krystallform des Leucit wurde für regulär gehalten, bis G. vom Rath (6) durch genaue Untersuchung zur Annahme des quadratischen Systems geführt wurde. Wir haben bereits an anderer Stelle[1]) seine Arbeit, die Einwürfe und Zustimmungen besprochen und hervorgehoben, dass trotz des von

[1]) Vergl. oben p. 34 u. 50.

Hirschwald erhobenen Widerspruchs jene Annahme zur Geltung gelangte, und der Leucit fast allgemein als quadratisch beschrieben wurde.

Die am Leucit auftretenden Formen werden bei quadratischer Auffassung:

$$2O2\ (211) = \begin{cases} o = P\ (111), \\ i = 4P2\ (421). \end{cases}$$

$$\infty O\ (110) = \begin{cases} m = \infty P\ (110), \\ u = 2P\infty\ (201). \end{cases}$$

$$\infty O\infty\ (100) = \begin{cases} a = \infty P\infty\ (100), \\ c = 0P\ (001). \end{cases}$$

Aus der gemessenen Seitenkante des Dioctaëders $i : i = 133^\circ\ 58'$ berechnete G. vom Rath das Axenverhältniss $a : c = 1,8998 : 1$ oder $1 : 0,52637$. Wäre die Form regulär, so müsste jener Winkel gleich $131^\circ\ 48'\ 37''$ und das Axenverhältniss der Grundform $2 : 1$ sein.

In späterer Zeit hat G. vom Rath wiederholt aufgewachsene Leucitkrystalle gemessen und hierbei (20) auch solche angetroffen, deren Winkel erheblich von dem obigen Werth abwichen und dem von der regulären Symmetrie geforderten sich näherten. Er berechnete für dieselben aus dem Fundamentalwinkel $c : o = 144^\circ\ 0'$ das Axenverhältniss $a : c = 1,9465 : 1$ oder $1 : 0,5137$, was sich den Dimensionen des Ikositetraëders (2 : 1) schon sehr nähert.

Die grössere Annäherung dieser Leucitkrystalle an die reguläre Form erhellt aus einem Vergleich der drei Kanten (A = Winkel dieser Leucite, B = Winkel berechnet aus der älteren Leucitgrundform):

	A	B	Kante des Ikositetraëders.
Polkante von $o(P)$ . . . =	$130^\circ 53'$,	$130^\circ\ 3'$,	$131^\circ 48' 37''$.
Polkante X von $i(4P2)$. =	$131^\circ 34\frac{3}{4}'$,	$131^\circ 23\frac{1}{4}'$	—
Lateralkante Z von $i(4P2)$ =	$132^\circ 58\frac{1}{2}'$,	$133^\circ 58'$	—

Die berechneten Winkel dieser Leucitkrystalle stehen daher annähernd in der Mitte zwischen den Winkeln des Ikositetraëders und denen der früher beschriebenen Krystalle. Fast ebensolche, den regulären sich nähernde Winkelwerthe zeigten die von Hautefeuille (19) dargestellten Eisenleucite, die statt Al_2O_3 32,13 % Fe_2O_3 enthielten und stärker doppelbrechend waren, als die natürlichen Leucite.

Trotzdem also die Winkel dieser Krystalle denen des regulären Ikositetraëders sich näherten, hielt G. vom Rath an seiner früheren Ansicht fest und auch in seiner letzten den Leucit betreffenden Veröffentlichung (26) betont er, dass er mit Rücksicht auf die daselbst mitgetheilten und alle früheren Messungen aufgewachsener vesuvischer Krystalle, die äussere Form des Leucit nur als quadratisch betrachten könne.

Eine hiervon abweichende neue Ansicht über die Form des Leucit wurde von Mallard ausgesprochen. Die an losen, wahrscheinlich von Frascati stammenden Krystallen ausgeführten Messungen ergaben ihm, dass zwar die

Winkel den von der regulären Symmetrie geforderten Werthen ausserordentlich sich nähern, dass sie aber, streng genommen, weder auf das reguläre, noch auf das quadratische System führen, sondern auf das rhombische. Nach den Winkelmessungen würde man dieses anzunehmen haben, die optische Untersuchung zeige jedoch, dass der Leucit in Wirklichkeit aus monoklinen Individuen aufgebaut sei.

Ebenso kam A. Weisbach (17) auf Grund von Messungen, die er durch Treptow an einem aus dem Albaner Gebirge stammenden Krystall hatte ausführen lassen, zu dem Resultat, dass die Leucitform nicht quadratisch, sondern rhombisch sei. Er berechnet das Axenverhältniss:

$$\breve{a} : \bar{b} : \dot{c} = 0,96497 : 1 : 0,49365$$

aus den Winkeln der Pyramide P (111):

Mittelkante = 70° 49′
Lange Polkante = 130° 43′
Kurze Polkante = 132° 33′.

Die Formen werden alsdann gedeutet:

$$2O2\ (211) = \begin{cases} P(111) \\ 4\breve{P}2\ (241) \\ 4\bar{P}2\ (421) \end{cases}$$

$$\infty O\infty\ (100) = \begin{cases} 0P\ (001) \\ \infty\breve{P}\infty\ (010) \\ \infty\bar{P}\infty\ (100) \end{cases}$$

$$\infty O\ (110) = \begin{cases} \infty P\ (110) \\ 2\breve{P}\infty\ (021) \\ 2\bar{P}\infty\ (201). \end{cases}$$

Jedoch hebt Weisbach am Schluss hervor, dass die Kanten, welche in der Ebene des brachydiagonalen Hauptschnittes liegen und bei der Annahme rhombischer Krystallisation gleich sein müssten, etwas merklichere und in übereinstimmendem Sinne der Art stattfindende Abweichungen zeigen, dass sie dem Charakter des monoklinen Systems (Axenschiefe = 90° 13′) entsprechen würden, legt aber hierauf wegen der ungenügenden Flächenbeschaffenheit keinen weiteren Werth.

Die bisher mitgetheilten Angaben über die Winkel des Leucit beziehen sich in der Hauptsache auf aufgewachsene Krystalle vom Vesuv und lose aus dem Albaner Gebirge. Eingewachsene Krystalle vom Vesuv weichen noch weniger von der regulären Symmetrie ab, als die letzteren.

Schon G. vom Rath bezeichnet in seiner ersten Arbeit über den Leucit (6) die Frage, ob es neben den quadratischen Leuciten nicht auch (der Form nach) reguläre Krystalle gäbe, als eine nahe liegende und durchaus berechtigte. »Es lösen sich in der That aus den alten Sommalaven die Leucitkrystalle mit einer scheinbar so vollkommenen Ikositetraëdergestalt heraus, dass man bei

ihrem Anblick nur schwer den Glauben an ihre reguläre Natur wird aufgeben können. Einen solchen 20 mm grossen Krystall sandte mir mein Freund Hessenberg mit den Worten: »Er ist zwar nicht glänzend, aber so schön gebildet, dass man sich mit dem Anlegegoniometer vollkommen überzeugen kann, dass er isometrisch krystallisirt ist, und nirgends Kanten von 133° 58′ zugleich mit andern von 130° 3′, also um beinahe 4° differirend, besitzt. Auch von Zwillingsbildung ist nichts zu entdecken. An dem fraglichen Krystall von vollkommen symmetrischer Ausbildung scheinen in der That die längeren Kanten, so weit das Anlegegoniometer zu ermitteln gestattet, gleich zu sein. Eine Kante von 133° 58′ suchte auch ich vergebens. Alle jene Kanten scheinen sehr nahe = 131° 49′, dem Werthe der längeren Kanten des Ikositetraëders 2*O*2, zu sein.«

In derselben Arbeit bespricht G. vom Rath die von Scacchi an einem ebenfalls eingewachsenen Leucitkrystall angestellten Messungen, welche ergeben hatten, dass die Winkel zwar grossen Schwankungen unterworfen sind, dass aber kein einziger der Endkante des quadratischen Leucit-Octaëders 130° 3′ nahe kommt. G. vom Rath erklärt dies durch die Annahme, der Leucit sei bestrebt, sei es durch die Weise des Aufgewachsenseins, sei es durch Zwillingsbildung, seinen octaëdrischen Scheitel zu verbergen. Speciell der von Scacchi gemessene Krystall wende nur dioctaëdrische Kanten nach aussen. Gegen die Annahme des regulären Systems für die eingewachsenen Krystalle spreche die von F. Zirkel (5) an denselben beobachtete Doppelbrechung und Streifung.

Nach allen am Leucit angestellten Messungen würde man die äussere Form, wenn nicht als monoklin, so doch als rhombisch, quadratisch und regulär je für einzelne Krystalle mit gleicher Wahrscheinlichkeit bestimmen können, in allen Fällen aber entspricht das Zusammentreten der Flächen zu Combinationen und der Habitus der Krystalle dem regulären System.

Die schwankenden Winkel und Unregelmässigkeiten der Leucitformen finden eine befriedigende Erklärung durch das von H. Rosenbusch (24) beobachtete Verhalten der Leucitkrystalle in der Wärme. Bei hinreichender Erwärmung verschwinden nämlich alle auf der Oberfläche sonst zu beobachtenden und immer auf Zwillingsbildung zurückgeführten Streifen und Flächenknicke und jede Fläche bekommt die Beschaffenheit und Lage einer vollkommen einheitlichen, nicht deformirten Krystallfläche. Sobald die Temperatur sinkt, kehren die Zwillingslamellen und Knickungen wieder, aber nicht immer in der früheren Ausbildung, sondern in anderer Zahl und Vertheilung, und nur das Gesetz der Zwillingslamellirung bleibt erhalten.

Aus diesen Thatsachen schliesst Rosenbusch, »dass die Entwicklung der Lamellen nach ∞O (110) beim Leucit bedingt ist durch die Verschiebung von Krystalltheilen nach den als Gleitflächen anzusehenden Rhombendodekaëderflächen. Durch diese Verschiebung werden Spannungen ausgeglichen, welche durch den bei niederer Temperatur nothwendig werdenden Übergang des Leucit zu einer neuen, noch unbekannten Molekularordnung entstehen«.

Wenn also die Granatoëderflächen den Charakter von Gleitflächen haben und es finden bei dem Abkühlen der Krystalle nach ihnen Verschiebungen statt, so werden diese in den eingewachsenen Krystallen ziemlich gleichmässig nach allen sechs Richtungen des Granatoëders vor sich gehen, da sie in dem umgebenden Magma nach allen Seiten hin das gleiche Hinderniss finden und daher werden diese Richtungen annähernd gleichwerthig bleiben. Die Folge davon wird sein, dass die reguläre Form auch nach dem Abkühlen erhalten bleibt, was bei den eingewachsenen Krystallen in der That auch der Fall ist.

Die aufgewachsenen Krystalle dagegen sind immer mit der einen Seite fest an die Unterlage gebunden und die Verschiebungen können in ihnen nicht gleichmässig nach allen Flächen des Granatoëders vor sich gehen, nach den Seiten wird vielmehr die Verschiebbarkeit eine andere sein als normal zur Aufwachsungsfläche. Wäre nun die Substanz nach wie vor regulär, so würde auch nach den Verschiebungen die Form regulär bleiben müssen, da alsdann die Gleitflächen Symmetrieebenen wären. Da aber die Substanz, wie aus andern Beobachtungen und Versuchen hervorgeht, nach dem Abkühlen in eine weniger symmetrische Modification übergeht, und die Krystalle aufgewachsen sind, so kann durch die Verschiebungen die Form stärker geändert werden als bei den eingewachsenen, und je nach Regelmässigkeit und Stärke der Verschiebungen wird die Form des Krystalls quadratisch, rhombisch oder monoklin, bald mit grösserer, bald mit geringerer Annäherung an die Dimensionen des regulären Systems.

Wenn Rosenbusch in Bezug auf Leucit sagt: »die alte starre Form passt sich bis zu einem gewissen Grade der neugebildeten Molekularanordnung an; es findet eine grössere oder geringere Deformation der Krystallgestalt statt«, so fügen wir hinzu, die eingewachsenen Krystalle sind ziemlich gleichmässig deformirt, die aufgewachsenen ungleichmässig.

Das complicirte optische Verhalten des Leucit ist von C. Klein klar gelegt worden (23) und wir folgen dessen Beschreibung.

C. Klein betrachtet den Leucit in dem Zustand, in dem er sich jetzt darbietet, als rhombisch, aber mit grosser Annäherung an das quadratische und reguläre System. Er kann nicht als quadratisch betrachtet werden, weil die Zwillingsbildung nach allen Flächen des scheinbaren Granatoëders erfolgt, also auch nach denen, die bei Annahme des quadratischen Systems als ∞P (110) Symmetrieebenen wären, und weil keiner Fläche nach ihrem optischen Verhalten die Rolle einer Basis im quadratischen Systeme zugeschrieben werden kann, da keine zwischen gekreuzten Nicols bei einer vollen Horizontaldrehung des Präparates dunkel bleibt.

Die Krystalle des Leucit bestehen entweder aus einem Grundkrystall mit eingeschalteten Zwillingslamellen — dann ist eine Würfelfläche Basis, die andern vorderes und seitliches Pinakoid — oder die Krystalle zeigen auf jeder angeschliffenen Würfelfläche solche Eigenschaften, dass man alle als gleich, etwa als Basisflächen, ansehen muss. Dann bestehen die Krystalle aus drei sich durchkreuzenden Individuen, bei denen jeweils die erste Mittellinie des

sehr kleinen Axenwinkels mit einer der früheren a-Axen des regulären Systems zusammenfällt. Immer sind in jeden Grundkrystall Zwillingslamellen nach sämmtlichen Flächen des jeweils zugehörigen scheinbaren Dodekaëders eingelagert.

Beide Arten von Krystallen kann man am sichersten unterscheiden in Schliffen nach den Würfel- und Octaëderflächen: zeigen dieselben Feldertheilung, so besteht der Krystall aus drei Grundindividuen; zeigen sie aber nur Streifung ohne Feldertheilung, so besteht der Krystall aus einem Grundindividuum. Wenn jedes der drei Grundindividuen eines Krystalls gleich gross ist, kann diese Unterscheidung leicht durchgeführt werden. Wenn aber, was häufig vorkommt, ein oder zwei Individuen zurücktreten, kann es sehr schwierig werden, zu entscheiden, ob der Krystall aus einem Grundkrystall oder drei sich durchkreuzenden besteht. Die Orientirung an einem einfachen Krystall, die sichere Unterscheidung der Basis von den andern Pinakoidflächen ist nicht immer leicht durchzuführen.

Krystalle, welche aus einem Grundindividuum mit eingelagerten Zwillingslamellen bestehen.

Schliffe parallel dem Würfel.[1])

Von den drei nach den nicht parallelen Würfelflächen gefertigten Schliffen verhalten sich zwei anders, als der dritte; dieser wird als der Basis entsprechend angesehen. Die Unterschiede sind im parallelen Licht sehr gering, im convergenten Licht zeigt der letztere Schliff, im Gegensatz zu den andern, ein schwaches Axenbild mit geringer Zweiaxigkeit.

Im parallelen Licht treten die bekannten, charakteristischen Streifensysteme auf; sie sind in den drei Würfelschnitten gleich und von zweierlei Art. Die einen gehen den Kanten des quadratischen Umrisses parallel und kreuzen sich unter 90°, indem sie entweder ziemlich ununterbrochen über die Platte hinlaufen (Fig. 27, Taf. II) oder scharf an einander absetzende Partien von unregelmässiger Begrenzung erfüllen (Fig. 28). Diese Lamellen setzen immer mit scharfen Grenzen gegen die Würfelfläche ein, ein Zeichen, dass sie nach den zu der Würfelfläche normalen Granatoëder-, bei rhombischer Auffassung Prismenflächen, in den Krystall eingelagert sind.

Die andern Lamellen verlaufen parallel den Diagonalen der Schliffe und setzen mit verschwommenen Grenzen gegen die Würfelfläche ein; sie sind nach den zu der Schlifffläche geneigten Dodekaëderflächen in den Krystall eingelagert. Somit findet nach allen Flächen des Dodekaëders Zwillingsbildung statt.

---

1) Wir werden der Einfachheit halber die Flächennamen auf die reguläre Form beziehen.

Die Schliffe erreichen das Maximum der Dunkelheit, wenn die Diagonalen der Schlifffigur — auf einen Würfel bezogen die Kanten desselben — mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen. Jedoch zeigen häufig einzelne Theile, namentlich in der Umgebung von Zwillingslamellen in Folge secundärer Störungen, Spannungen und dergleichen, unregelmässig abweichende Auslöschung. Auch in der Nähe der Einschlüsse ist das optische Verhalten oft gestört, namentlich beobachtet man um sie herum ein schwarzes Kreuz, welches eine Störung andeutet, die auf einen von den Einschlüssen gegen die umgebende Substanz ausgeübten Druck zurückzuführen ist und in ähnlicher Weise zu Stande gekommen sein kann, wie wir es später bei Bleinitrat sehen werden.

Der Unterschied zwischen dem Schliff nach der Basis und den beiden nach den andern Pinakoiden soll darin bestehen, dass die letzteren stärkere Doppelbrechung zeigen als der Basisschliff; jedoch ist dieser Unterschied nur sehr gering, da die Doppelbrechung, vorausgesetzt, dass die Schliffe gleich dick sind, durch sich kreuzende Zwillingslamellen in Folge theilweiser Compensation schwächer erscheinen kann. Dies kann aber nach jeder der drei Würfelflächen eintreten und darum kann bald der eine, bald der andere schwächer doppelbrechend scheinen. Auch sollen die Lamellen in dem Basisschliff bisweilen dichter gedrängt sein, wie in den andern.

Im convergenten Licht zeigt einer der drei Schliffe, der, welcher als Basisschliff angenommen wird, ein schwaches Axenbild mit geringer Zweiaxigkeit; der optische Charakter kann durch Combination der Beobachtungen im parallelen Licht mit Gypsblättchen und im convergenten Licht als positiv festgestellt werden.

Schliffe parallel dem Octaëder.

Schliffe nach dem Octaëder zeigen drei, unter 60° sich kreuzende, scharf begrenzte, senkrecht zur Oberfläche einsetzende Lamellensysteme (Fig. 29, Taf. II), welche nach den zur Oberfläche normalen Granatoëderflächen eingelagert sind, und breitere, verschwommene Streifen, welche den langen Dreieckskanten parallel gehen, und nach den zur Fläche geneigten Granatoëderflächen eingelagert sind. Auch hieraus ergiebt sich, dass die Zwillingslamellirung nach allen Flächen des Granatoëders erfolgt ist. Feldertheilung zeigen diese Schliffe nicht.

Schliffe parallel dem Granatoëder.

Diese Schliffe können zur Orientirung der Krystalle dienen, da, bei rhombischer Auffassung, die dem Verticalprisma parallelen Schliffe sich anders verhalten, als die den Domenflächen parallelen.

Werden einem Krystall drei in einer Zone gelegene Dodekaëderschliffe von aussen her entnommen, und die Lage der optischen Elasticitätsaxen in der Masse des Grundkrystalls ermittelt, so ergiebt sich, dass bei zweien dei

kleinste optische Elasticitätsaxe in die Richtung der langen Diagonale, bei einem in die Richtung der kurzen Diagonale fällt. Die Richtung des letzteren Schliffes würde die einer Fläche des Verticalprismas sein, und die kleinste optische Elasticitätsaxe würde bei quadratischer Auffassung optische Axe sein und ist bei rhombischer Auffassung erste Mittellinie des kleinen Axenwinkels, der optische Charakter ist in jedem Fall positiv.

Die Masse des Grundkrystalls wird in allen drei Schliffen von scharf und verschwommen einsetzenden Lamellen durchzogen; die ersteren gehen der kurzen Diagonale parallel und sind nach der zur Schliffläche normalen Granatoëderfläche eingelagert, die andern mit verschwommenen Grenzen gehen den Kanten parallel und gehören zu den zur Fläche geneigten Granatoëderflächen (Fig. 30, Taf. II). In der Regel zeigen die den Flächen des Verticalprismas parallelen Schliffe weniger zahlreiche Lamellen als die andern.

Schliffe parallel dem Ikositetraëder.

Die Auslöschungsrichtung des Grundkrystalls muss in einem der Ikositetraëderschliffe anders liegen wie in den beiden andern, wenn die drei Schliffe den in einem Octanten liegenden Ikositetraëderflächen parallel sind. Da die symmetrische Diagonale des einen im diagonalen Hauptschnitt quadratischer Auffassung liegt, so wird die Platte hierzu sehr annähernd senkrecht und parallel auslöschen, die andern zwei Flächen desselben Octanten können sich nicht so verhalten, sie löschen schief aus. In den Streifensystemen weisen alle Flächen wieder auf vollkommen dodekaëdrische Zwillingsbildung hin (Fig. 31).

Krystalle, welche aus mehreren Grundindividuen bestehen.

Die Schliffe aus solchen Krystallen, welche aus mehreren, im normalen Falle aus drei durch einander gewachsenen Grundkrystallen bestehen, unterscheiden sich von den einfachen im polarisirten Licht im allgemeinen durch die Feldertheilung, welche namentlich bei Anwendung eines Gypsblättchens hervortritt und den zusammengesetzten Bau anzeigt.

Die **Würfelschliffe**, welche nahe der Oberfläche den Krystallen entnommen sind, verhalten sich gleich, auch wenn sie den seitlichen Würfelflächen parallel gehen, jeder verhält sich wie der Basisschliff eines einfachen Krystalls. Stammen die Schliffe aus der Mitte des Krystalls, so erscheinen sie in fünf Felder getheilt. Ein Mittelfeld, welches sich wie der Basisschliff verhält, wird umgeben von vier Theilen, von denen je zwei gegenüber liegende sich gleich verhalten und einem den ersten durchkreuzenden Krystall angehören. Wird ein Gypsblättchen vom Roth der I. Ordnung eingeschaltet, so werden diejenigen Felder blau, durch welche die kleinste optische Elasticitätsaxe desselben hindurchgeht (Fig. 32, Taf. II). Da die Untersuchung im convergenten

Licht zeigt, dass diese Felder parallel der optischen Axe, bez. der ersten Mittellinie sind, so ergiebt sich auch für diese Krystalle der optische Charakter als positiv.

Schliffe nach den Octaëderflächen zeigen Dreitheilung nach den Ecken (Fig. 33), solche nach den Granatoëderflächen sind einheitlich, wenn sie der Oberfläche entnommen sind, zeigen Feldertheilung, wenn sie mehr aus dem Innern der Krystalle geschnitten sind.

Schliffe nach den Flächen des Ikositetraëders löschen alle annähernd parallel und senkrecht zur symmetrischen Diagonale aus, da bei den Durchwachsungen nur solche Ikositetraëderflächen nach aussen liegen, welche bei quadratischer oder rhombischer Auffassung als $P(111)$ gedeutet werden.

Alle diese Schliffe zeigen, ebenso wie die aus einfachen Krystallen, die Streifensysteme und vollkommen dodekaëdrische Zwillingsbildung; die scharf einsetzenden Streifen rühren immer von den zur Fläche normalen, die mit verschwommenen Grenzen von den zu dieser geneigten Granatoëderflächen her.

Die in den Schliffen hervortretende Feldertheilung ist immer am regelmässigsten, wenn die drei sich durchkreuzenden Krystalle gleich gross sind, sie wird um so unregelmässiger, je mehr die Krystalle an Grösse differiren.

Die Methode der Ätzung ist von H. Baumhauer (13) zur Bestimmung der Symmetrie und Entzifferung der Zwillingsverwachsungen des Leucit angewandt worden. Obwohl durch Ätzen mit Flusssäure keine scharf begrenzte Vertiefungen auf den Flächen des Leucit entstehen, so glaubte H. Baumhauer doch aus andern Erscheinungen die Ansichten G. vom Rath's in vollem Umfang bestätigen zu können. Bei dem Ätzen zeigte es sich, dass die Flächen des Ikositetraëders, welche bei quadratischer Auffassung zur Pyramide gehören, weniger angegriffen werden als die, welche Dioctaëderflächen werden. Die Zwillingsstreifen treten durch das Ätzen deutlicher und in grösserer Menge hervor, als vorher; ihre Anordnung soll dem vom Rath'schen Gesetze entsprechen. Dass dies jedoch nicht der Fall ist, dass vielmehr die Zwillingsbildung nach allen Flächen des Rhombendodekaëders erfolgt, haben die Untersuchungen von C. Klein bewiesen. Ebenso wie bei Boracit hat sich auch bei Leucit die optische Methode als feiner und zuverlässiger erwiesen, als die Methode der Ätzung.

Verhalten des Leucit bei hoher Temperatur.

Die entscheidenden Beobachtungen über den Einfluss der Wärme auf die optischen Eigenschaften des Leucit sind von C. Klein (22) angestellt worden, nachdem A. Merian (21) zu keinem positiven Resultat gekommen war. Nach C. Klein werden alle Platten von Leucit einfachbrechend, wenn sie bis zur beginnenden Rothgluth ihrer Ränder erhitzt werden. Den Verlauf der Umwandlung, wie er bei gekreuzten Nicols dem Beobachter sich darbietet, beschreibt C. Klein wie folgt:

»Die Dunkelheit lief wie ein sich ausbreitender Tintenfleck über die Platte hinüber und alle Theile derselben: Zwillingslamellen, Zwillingskeile u. s. w. löschten aus. So lange die Temperatur anhielt, blieb die Dunkelheit bestehen. Wurde die Flamme entfernt, so verlor sich die Dunkelheit rasch wieder, der dunkle Vorhang, der vorher die Platte überzogen, rollte im entgegengesetzten Sinne nach der wärmsten Stelle zu zurück, und die Erscheinung, welche die Platte vor dem Erwärmen gezeigt hatte, kehrte, wenn nicht sehr anhaltend erhitzt worden war, meist unverändert wieder. Manchmal, besonders bei dickeren Schliffen, erforderte es nach der Aufhellung der Platte längere Zeit, bis der alte Zustand der Lamellenbildung wieder annähernd wie früher erreicht worden war. Wurden nicht zu dünne Schliffe anhaltend erhitzt, so beobachtete man nach dem Erkalten geänderte Felder- und Lamellenvertheilung gegen früher und Änderung in der Stärke der Doppelbrechung der Lamellen. Die Haupterscheinung des Verdunkelns und Aufhellens ist mit demselben Schliffe beliebig oft zu wiederholen, so lange, bis das gänzliche Zerspringen desselben der Beobachtung eine Grenze setzt.«

Die Temperatur, bei welcher die Platten einfachbrechend werden, konnte nicht genau bestimmt werden, weil sie zu hoch ist; nach den Untersuchungen von C. Klein ist sie jedenfalls höher als 450° C.

Dass bei hoher Temperatur auch die auf den Krystallflächen sonst vorhandenen Streifen und die Flächenknicke verschwinden, haben wir schon oben (p. 109) erwähnt.

Es fragt sich nun: zu welchen Schlüssen berechtigt das Verhalten des Leucit bei gewöhnlicher und hoher Temperatur?

Wir werden sehen, dass man in Steinsalz durch Druck und schnelle Kühlung ganz ähnliche Erscheinungen hervorrufen kann, wie sie der Leucit zeigt. Doppelbrechende Streifen entstehen durch Druck, Streifen und Feldertheilung bei schneller Kühlung. Die doppelbrechenden Streifen verlaufen bei Steinsalz wie bei Leucit nach den Granatoëderflächen und diese haben bei Steinsalz unbezweifelt den Charakter von Gleitflächen. Unter dem Polarisationsapparat sehen sich würfelige Platten von Steinsalz und Leucit oft zum Verwechseln ähnlich.

Wenn wir trotzdem den Leucit zu den durch Dimorphie, nicht zu den durch Spannung anomalen Krystallen rechnen, so geschieht es wegen des abweichenden Verhaltens in der Wärme. Steinsalz wird allerdings auch durch Erwärmen wieder einfachbrechend, aber ganz allmählich und bleibt so, wie es geworden ist, auch nach dem Abkühlen. Leucit dagegen wird, wie Boracit und Ammoniaksalpeter, bei dem Erwärmen plötzlich einfachbrechend, was darauf hindeutet, dass der Übergang bei einer bestimmten Temperatur stattfindet; und bei dem Abkühlen wird er wieder doppelbrechend wie vorher.

Wegen dieses Verhaltens betrachten wir die Substanz des Leucit als dimorph, als rhombisch bei gewöhnlicher, als regulär bei einer etwa 500° C. übersteigenden Temperatur.

Wenn wir nun das Vorkommen des Leucit in der Natur ins Auge fassen, so sehen wir, dass hier die Bedingungen zur Bildung der regulären Modification gegeben waren. Er findet sich entweder eingewachsen in Lavagesteinen und hat sich in diesen immer als eins der ersten Mineralien ausgeschieden, oder aufgewachsen in Hohlräumen von Auswürflingen, wo er sich z. Th. wohl durch Sublimation gebildet hat; in jedem Falle können wir aus seinem Vorkommen schliessen, dass er sich bei einer Temperatur gebildet hat, welche die Umwandlungstemperatur überstieg. Der Leucit ist daher zur Zeit seiner Bildung nach Form und optischen Eigenschaften regulär.

Bei der Abkühlung geht die reguläre Modification in die rhombische über. In Folge der Volumänderung treten in den Krystallen Spannungen auf, die sich in Gegensatz zu Boracit auslösen durch Verschiebung nach den Granatoëderflächen, die jetzt zu Prismenflächen geworden sind. Hierdurch wird die Form deformirt und ihr quadratische oder rhombische Symmetrie aufgedrückt. Die umgelagerten Theile durchziehen als Zwillingslamellen die Grundmasse des Krystalls.

Die Doppelbrechung der rhombischen Modification ist gering, und die Theilchen sind so orientirt, dass eine der drei *a*-Axen des regulären Systems zur ersten Mittellinie des kleinen Axenwinkels wird.

Waren Krystalle bei der Bildung mit einander parallel verwachsen, so können sie bei dem Abkühlen durch die in Folge der Volumänderung eintretenden Gleitungen ein wenig gegen einander verschoben werden und erscheinen als Durchwachsungen mehrerer, im regelmässigsten Falle dreier Individuen. In jedem derselben orientiren sich die Theilchen ebenso wie in einem Einzelkrystall.

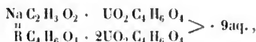
Zweifache Uranyl-Doppelacetate.

Literatur.

R. Erb. Krystallographisch-chemische und physikalische Untersuchung einiger zweifacher Uranyl-Doppelacetate. Diss. Giessen und N. Jb. VI. Beilage-Band. p. 121—150. 1889.

Die von R. Erb untersuchten und beschriebenen zweifachen Uranyl-Doppelacetate sind ausgezeichnete Beispiele für die mit Dimorphie in Zusammenhang stehenden Anomalien.

Diese Salze haben die allgemeine Formel:



$$\left.\begin{matrix} Na\,C_2H_3O_2 \cdot \;\; UO_2\,C_4H_6O_4 \\ \overset{II}{R}\,C_4H_6O_4 \cdot 2UO_2\,C_4H_6O_4 \end{matrix}\right> \cdot 9aq.,$$

worin $\overset{II}{R}$ = Cu, Mg, Ni, Co, Zn, Mn oder Fe sein kann; sie werden dargestellt, indem die Lösungen der einfachen Doppelsalze vereinigt und der Verdunstung überlassen werden.

Die Krystalle sind ihrer äusseren Form nach hexagonal-rhomboëdrisch und begrenzt von:

$0R(0001)$, $R(10\bar{1}1)$, $-2R(02\bar{2}1)$, $4R(40\bar{4}1)$, $\frac{8}{3}P2(44\bar{8}3)$, $\infty R(10\bar{1}0)$, $\infty P2(11\bar{2}0)$;

meist herrscht die Basis und ein Rhomboëder vor, während die andern Formen untergeordnet sind oder fehlen.

Die Rhomboëderflächen geben auf dem Goniometer oft zwei Reflexe und ihre Winkel zeigen Schwankungen bis über einen Grad. Beides wird durch schwach aus- resp. einspringende Winkel von 176° resp. 184° bedingt, welche auf den Rhomboëderflächen durch Zwillings- oder Drillingsbildung nach den Gesetzen des rhombischen Systems entstehen.

Das Axenverhältniss des Kupfersalzes ist

$$a : c = 1 : 0{,}77205$$

berechnet aus

$$0R : R = 138°17';$$

die andern Krystalle haben annähernd dieselben Dimensionen, alle sind ausgezeichnet isomorph.

Das optische Verhalten der Krystalle steht in Widerspruch mit der Form, sie erscheinen, auf $0R$ aufliegend[1], im parallelen polarisirten Licht bei gekreuzten Nicols nicht dunkel, sondern zeigen in der Regel ein buntes Gemisch von optisch verschieden orientirten, kleineren und grösseren Feldern, Bändern und hellen Linien, deren Anordnung verschieden ist und von der äusseren Krystallform abzuhängen scheint. Nach dem speciellen Verhalten kann man vier Gruppen unterscheiden, die aber nicht scharf von einander getrennt, sondern durch Übergänge mit einander verbunden sind.

Die Krystalle der ersten Gruppe werden in Platten nach $0R$ einheitlich hell und bei dem Drehen dunkel. Es gehören hierher hauptsächlich die Krystalle des Magnesiumsalzes und die des Kupfersalzes.

Die der zweiten Gruppe sind einfache Zwillinge und sind auf $0R$ durch eine helle scharfe Linie in zwei optisch differente Felder getheilt (Fig. 34, Taf. II). Ihre äussere Umrandung ist ein mehr oder weniger regelmässiges Hexagon. Da, wo jene helle Linie die Randkanten schneidet, bemerkt man einen aus- resp. einspringenden Winkel von 176°. Die zu beiden Seiten des einspringenden Winkels liegenden Winkel des Hexagons sind unter sich gleich und betragen im Mittel etwa 118°, die andern vier Winkel sind ebenfalls unter sich gleich und betragen je etwa 121°. Ein solches Gebilde kann aufgefasst werden als ein Zwilling rhombischer Krystalle, die ein Prisma von 118° haben und nach $\infty\breve{P}3$ verwachsen sind. Die beiden Felder haben verschiedene Auslöschungslage, jedes löscht unter annähernd 30° zur Zwillingsnaht aus. Ausser dieser einen Zwillingsnaht können die beiden hierdurch entstandenen Felder auch noch von andern hellen Linien durchzogen sein, die annähernd normal zu je einer der drei Randkanten sind; solche Krystalle führen hinüber zu denen der dritten Gruppe. Die einfachen Zwillinge (wie in Fig. 34) treten am häufigsten beim Nickel-, Mangan-, Zink- und Kupfersalz auf.

---

[1] Alle weiteren Angaben beziehen sich auf Platten $\parallel 0R$.

Die Krystalle der dritten Gruppe stellen bei oberflächlicher Betrachtung Combinationen von zwei Rhomboëdern mit der Basis dar und sind nach dieser dünntafelig; die Rhomboëderflächen sind aber wieder scharf geknickt, und daher ist der Umriss der Basis nur scheinbar ein reguläres Sechseck, genau ein symmetrisches Zwölfeck, dessen Winkel abwechselnd 124° und 176° betragen. Von jeder Ecke dieses Zwölfecks geht nach der gegenüberliegenden Ecke eine helle scharfe Linie, so dass die Basis in zwölf Felder getheilt erscheint, deren Centriwinkel 30° betragen; die Auslöschung erfolgt in jedem Feld unter annähernd 30° gegen die helle Grenzlinie (Fig. 35). Bei weniger regelmässiger Ausbildung sind weniger Felder vorhanden, oder die eine Hälfte ist in sechs Felder getheilt, während die andere gar keine Feldertheilung zeigt (Fig. 37). In jedem Feld treten weitere Streifensysteme auf, wie die Figuren 36 und 37 es zeigen. Diese Gebilde würden ebenso durch wiederholte Zwillingsbildung nach $\infty\bar{P}3$ zu erklären sein, wie die der zweiten Gruppe durch einfache Zwillingsbildung. Die Lamellen sind immer nach demselben Gesetz in die Grundmasse eingelagert. Diese Erscheinungen sind am schönsten beim Kupfersalz.

Die Krystalle der vierten Gruppe unterscheiden sich von den vorigen dadurch, dass die Zwillingslamellen ein so dichtes Gitter bilden, dass wegen Übereinanderlagerung in keiner Lage vollständige Auslöschung eintritt. Erst nach dem Dünnerschleifen treten einzelne einheitliche Streifen hervor. Besonders das Kobaltsalz bildet solche Krystalle.

Im convergenten Licht ist in keinem der Krystalle von Axenaustritt und dergleichen etwas zu bemerken.

Verfolgt man das Wachsthum der Krystalle unter dem Mikroskop, so kann man oft die Beobachtung machen, dass die kleinen Krystalle im Anfang optisch normal sind, d. h., wenn sie auf $0R$ aufliegen, keine Wirkung auf das parallele polarisirte Licht ausüben. Erst wenn die Krystallblättchen grösser werden, treten in ihnen helle Linien oder optisch anders orientirte Felder auf, die keilförmig dem Mittelpunkt zustreben, und schliesslich sind alle isotropen Partien verschwunden. Dies Verhalten ist in gewisser Beziehung zu vergleichen mit dem des Kalisalpeter, der durch Verdunstung der Lösung bei gewöhnlicher Temperatur oft rhomboëdrische Krystalle liefert, die aber bald in die stabile rhombische Modification übergehen.

Die Ätzfiguren auf der Basis der Krystalle sind gleichseitige Dreiecke, bez. gleichseitig-dreiseitige Pyramiden, die so liegen, dass eine Kante der gleichseitigen Dreiecke einer Umgrenzungskante parallel geht; auf einer Fläche sind alle Ätzfiguren unter einander parallel, einerlei, ob die Fläche optisch einheitlich ist, oder Feldertheilung zeigt (Fig. 34), oder von Zwillingslamellen durchsetzt ist.

Verhalten bei dem Erwärmen.

Alle Krystalle der vier Gruppen besitzen die gemeinschaftliche Eigenschaft, dass sie bei höherer Temperatur die Anomalien verlieren und sich wie optisch einaxige Krystalle verhalten, d. h. in Platten nach $0R$ keine Einwirkung auf das parallele polarisirte Licht mehr zeigen.

Die Temperatur, bei welcher die Umwandlung vor sich geht, ist für dasselbe Salz constant, da das Thermometer im Augenblick der Umwandlung immer eine bestimmte Temperatur zeigt, sie ist aber nicht ermittelt, da das Thermometer über den Krystallen in der Luft sich befand und eine viel niedrigere Temperatur anzeigte (62°—65°), als der Krystall besass. Jedoch hebt Erb hervor, und ich habe mich an Präparaten, die ich der Güte desselben verdanke, davon überzeugen können, dass die Umwandlung in derselben Weise vor sich geht, wie bei Boracit und Ammoniaksalpeter, die Dunkelheit rollt plötzlich »wie ein schwarzer Vorhang« heran.

Ehe die Umwandlung vor sich geht, ändern sich in der Regel die Interferenzfarben und die Zahl der Zwillingslamellen wird immer geringer.

Besonders interessant, namentlich in Hinblick auf den Leucit, ist das Verhalten der geknickten Rhomboëderflächen, durch welche in den basischen Platten die schwach aus- und einspringenden Winkel entstehen. Stellt man beim Erwärmen den Scheitel des einspringenden Winkels auf die Mitte des Fadenkreuzes ein, so beobachtet man, dass die gebrochene Kante beim Isotropwerden der Substanz nach aussen rückt und gerade wird, die Flächenknicke verschwinden und die Fläche ist nun eine richtige Rhomboëderfläche.

Bei dem Abkühlen stellen sich die Flächenknicke und Zwillingslamellen wieder ein und nach völligem Erkalten liegt der Krystall in seiner anfänglichen Beschaffenheit wieder vor, ebenfalls wie Leucit. Die Flächen des Prisma $\infty \breve{P}3$ haben vermuthlich den Charakter von Gleitflächen und die Verschiebungen und Umlagerungen werden bewirkt durch die in Folge der Volumänderung entstehenden Spannungen.

Tridymit.

Literatur.

1. M. Schuster. Optisches Verhalten des Tridymit aus den Euganeen. T. M. M. I. p. 71—77. 1878.
2. A. von Lasaulx. Über das optische Verhalten und die Krystallform des Tridymites. Z. Kr. II. p. 253—274. 1878.
3. A. Merian. Beobachtungen am Tridymit. N. Jb. 1884, I. p. 193—195.
4. E. Mallard. Sur la tridymite et la christobalite. Bull. min. XIII. p. 161—172. 1890.

Die Krystalle des Tridymit sollten nach den Messungen G. vom Rath's[1]) dem hexagonalen System zugerechnet werden, ihre optischen Eigenschaften

[1]) P. A. 135. p. 437. 1868; 152. p. 1. 1874.

entsprechen aber nicht den Anforderungen dieses Systems: basische Blättchen erscheinen im parallelen Licht bei gekreuzten Nicols nicht dunkel, sondern hell.

Nach den speciellen Eigenschaften haben wir zwei Gruppen zu unterscheiden:

1) Pseudomorphosen von Quarz nach Tridymit,
2) zweiaxigen Tridymit.

Pseudomorphosen von Quarz nach Tridymit.

A. von Lasaulx unterscheidet in seiner Abhandlung über den Tridymit zwei Varietäten, die klaren und die getrübten Krystalle. Während die klaren im allgemeinen als zweiaxig sich erweisen mit zur Basis normaler Mittellinie und nur wenig auf das parallele polarisirte Licht wirken, fällt an den getrübten Tafeln unter gekreuzten Nicols »eine sehr lebhafte, chromatische Polarisation auf, die bei einer Drehung des oberen Nicols vorherrschend gelbe und blaue Farbe zeigt. Im convergent polarisirten Lichte erblickt man deutlich einen oder mehrere farbige Ringe, aber von vollkommen einseitiger Lage, wie von einer schief austretenden Axe. Zwar ist der eine Pol der Axe und des Lemniscatensystems nicht in das Gesichtsfeld gerückt, aber aus dem Durchgehen nur einer Hyperbel bei einer Drehung des Präparates ist zu schliessen, dass die Abweichung der einen Axe von der Normalen zur Ebene des Objectes keine sehr bedeutende sein kann. Keines der Präparate getrübter Tridymittäfelchen, die ich untersuchte, zeigte in diesem Verhalten eine wesentliche Abweichung. Auch die Stellung der sichtbaren farbigen Ringe erscheint in allen vollkommen übereinstimmend. Nie erhielt ich das in den klaren Tafeln so bestimmt sichtbare Bild der beiden sich öffnenden Hyperbeln«.

Dies Verhalten erklärte A. von Lasaulx durch die Annahme, dass die lebhaft polarisirenden Theile dem Krystall zwillingsartig eingelagert seien nach dem Gesetz: Zwillingsebene eine Fläche der Pyramide $\frac{1}{6}P$. An der äusseren Form würden diese Theile nicht hervortreten, die Tafeln erscheinen einfach oben und unten durch die Basis begrenzt; die Zwillingslamellen würden nur optisch nachzuweisen sein. Manche Tafeln, z. B. die von Schuster beschriebenen, würden in ihrer ganzen Ausdehnung nur aus solcher in Zwillingsstellung befindlicher Masse bestehen.

Da es mir nicht gerade wahrscheinlich zu sein schien, dass eine hexagonale Tafel von der gewöhnlichen Form des Tridymit ganz aus Zwillingslamellen nach $\frac{1}{6}P$ bestehen sollte, ohne dass man äusserlich hiervon etwas bemerkte, so suchte ich durch eigene Beobachtung mir ein Urtheil zu bilden. Ich benutzte zur Untersuchung Tridymit von Zovon di Vò am Westrand der Euganeen.

Die bis 1 cm grossen, nach der Basis dünntafeligen Krystalle sitzen an den Wänden von Hohlräumen in Amphibolandesit und sind, wie diese, von Verwitterungsproducten mancherlei Art, feinfaseriger chloritischer Substanz,

gelbbraunem Eisenhydroxyd, Chalcedon etc. überzogen, so dass die Flächen am Rand kaum mehr zu sehen sind. Hier und da sieht man Spitzen von Quarzkryställchen aus den Tridymittafeln hervorragen, auch findet man solche Kryställchen an den Wänden der Druse. Sehr häufig sind die Tridymittafeln nach dem gewöhnlichen Zwillingsgesetz — Zwillingsebene $\frac{1}{6}P$ — durcheinander gewachsen.

Bei der optischen Untersuchung gewinnt man sofort die Gewissheit, dass die Krystalle denen ganz ähnlich sind, welche A. von Lasaulx beschrieben hat. Das Innere der Tafeln verhält sich wie ein Aggregat doppelbrechender Körner. Fixirt man einzelne Körner, so findet man viele, welche in bestimmten Lagen auslöschen, dazwischen hell sind und die lebhaften Farben der II. und III. Ordnung zeigen, andere, welche nur graue oder gelbe Farbe zeigen und bei dem Drehen in allen Lagen ihre Farbe beibehalten. Diese, im convergenten Licht untersucht, geben das Interferenzbild einaxiger Krystalle, das schwarze Kreuz bleibt in allen Lagen unverändert stehen; der optische Charakter konnte mit einem Glimmerblättchen als positiv festgestellt werden; die andern Körner geben mehr excentrisch liegende Bilder oder keine besondern Erscheinungen, überall aber, wo ein Axenbild zu sehen ist, ist es ein solches einaxiger Krystalle. Der Vergleich mit einem Dünnschliff von körnigem Quarz ergab eine vollkommene Übereinstimmung in dem optischen Verhalten und es war mir nicht mehr zweifelhaft, dass das Innere der Tridymittafeln aus Quarz bestände, eine Pseudo- oder Paramorphose von Quarz nach Tridymit vorlag. Noch war ich mit der weiteren Untersuchung beschäftigt, als die Arbeit von Mallard über den Tridymit erschien und durch alle wünschenswerthen Belege es ausser allen Zweifel stellte, dass die Form des Tridymit aus den Euganeen von Quarz erfüllt ist.

Auch Mallard wurde durch das von andern Tridymitkrystallen abweichende optische Verhalten zu genauerer Untersuchung veranlasst. Er bestimmte das specifische Gewicht zu 2,56—2,62, was sich dem specifischen Gewicht des Quarzes (2,65) sehr nähert, von dem des Tridymit (2,28) aber so sehr abweicht, dass die Substanz jedenfalls nicht Tridymit sein kann.

Ebenso wie das specifische Gewicht stimmen die optischen Eigenschaften mit denen des Quarzes überein; der Unterschied der Brechungsexponenten beträgt nach der Messung von Mallard 0,009—0,0010 (soll wohl heissen 0,010 ?), während er für Quarz 0,009 beträgt; den mittleren Brechungsexponent bestimmte Mallard zu 1,54, während er für Quarz 1,551 beträgt.

Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dass die Form des Tridymit aus den Euganeen von Quarz erfüllt ist; der Quarz ist deutlich krystallisirt, aber gegen die Form des Tridymit nicht orientirt, »il semble seulement que les particules cristallines du quartz ont une tendance à s'orienter de manière que l'une des faces de pyramide (p, $e^{\frac{1}{2}}$) soit parallèle à la base p des cristaux de tridymite«; aber auch dies ist nicht der Fall, da unter den Körnern auch annähernd senkrecht zur optischen Axe getroffene sich finden.

Die Entstehung dieser Pseudomorphosen erklärt Mallard wie folgt: Die Krystalle des Tridymit haben sich wahrscheinlich bei dem Festwerden des Gesteins und bei hoher Temperatur gebildet; später sind sie durch eine unbekannte Lösung zersetzt worden und aus der Lösung hat sich die Kieselsäure in der Form des Quarzes wieder ausgeschieden. »Cela revient à dire, en somme, que la tridymite, soumise à température relativement basse, à l'action d'une dissolution de nature inconnue, a donné naissance à du quartz, par une sorte de double décomposition, la tridymite et le quartz jouant le rôle de deux substances chimiques différentes.«

Am Schluss vergleicht Mallard diese Gebilde mit den Paramorphosen von Kalkspath nach Aragonit und Aragonit nach Kalkspath; hiergegen ist nur zu erinnern, dass die Umwandlung von Kalkspath in Aragonit und umgekehrt nicht durch Umlagerung, sondern, wie M. Bauer[1]) nachgewiesen hat, durch Lösung und vollständige Neubildung vor sich geht, dass daher nicht eigentliche Paramorphosen, sondern Pseudomorphosen vorliegen. Da nach Ansicht von Mallard die Umwandlung von Tridymit in Quarz auf ähnliche Weise erfolgt ist, würden diese Gebilde als Pseudomorphosen von Quarz nach Tridymit zu bezeichnen sein, nicht als eigentliche Paramorphosen.

Zweiaxiger Tridymit.

Das Verhalten des Tridymit beschreibt Mallard wie folgt:

Basische Blättchen erweisen sich als doppelbrechend, zweiaxig; die erste Mittellinie von positivem Charakter ist senkrecht zur Basis. Die Blättchen bestehen immer aus verschieden orientirten, neben und über einander gelagerten Theilen, welche nach dem Aragonitgesetz mit einander verwachsen sind. Ebenso wie bei Aragonitzwillingen wechselt auch hier die Lage der optischen Axenebene von Individuum zu Individuum. In der Regel ist sie senkrecht zur Durchschnittskante der Basisflächen von zwei nach $\frac{1}{6}P$ oder $\frac{3}{4}P$ verzwillingten Individuen, aber sie kann auch nach der einen oder andern Seite um 60° hiergegen gedreht sein und durch Übereinanderlagerung verschieden orientirter Theile alle Zwischenlagen zwischen den beiden Grenzlagen einnehmen. Die Übereinanderlagerungen erklären zugleich die Schwankungen des Axenwinkels.

An klaren und einheitlich auslöschenden Stellen der Tridymitblättchen vom Puy-du-Capucin bestimmte Mallard den Axenwinkel

$$2E = 66^\circ \text{ circa}, \quad 2V = 43^\circ.$$

A. von Lasaulx hatte früher (2) $2E = 65^\circ$—70° gefunden.

Für die Brechungsexponenten hatte von Lasaulx gefunden:

$$\beta = 1{,}4285 \text{ und } \gamma = 1{,}4407,$$

Mallard bestimmte

$$\frac{\beta + \gamma}{2} = 1{,}477$$

[1]) N. Jb. 1886, I. p. 62. 1890, I. p. 19.

und berechnete hieraus den mittleren Brechungsexponenten

$$n = 1,4775.$$

Ferner

$$\alpha - \beta = 0,0016 \text{ ungefähr}$$

und

$$\alpha - \gamma = 0,00185$$
$$\beta - \gamma = 0,00025.$$

Als Axenverhältniss nimmt Mallard an:

$$a : b : c = 0,5774 : 1 : 0,9544$$

und erinnert daran, dass der Winkel, unter dem die äusseren Basisflächen eines Drillings[1] zusammenstossen (70° 36′), dem des regulären Octaëders (70° 32′) sich nähert, das Molekularnetz des Tridymit pseudoregulär zu sein scheine.

Verhalten des Tridymit in der Wärme.

Schon A. Merian (3) hatte die Beobachtung gemacht, dass die Tridymitblättchen bei höherer Temperatur einaxig werden, nach dem Abkühlen wieder zweiaxig, die erste Mittellinie wird zur optischen Axe; Mallard (4) hat die Umwandlungstemperatur zu etwa 130° bestimmt. Es genügt, um die Umwandlung zu beobachten, ein Blättchen auf einem Objectträger über einer Flamme zu erhitzen und es unter ein Mikroskop zu bringen; bei gekreuzten Nicols ist es erst dunkel, wird während des Abkühlens allmählich hell und einzelne Felder treten wieder hervor, oft mit anderer Abgrenzung wie vor dem Erwärmen, analog dem, was wir bei Boracit gesehen haben.

Wird ein Blättchen über die Umwandlungstemperatur hinaus erhitzt, so tritt keine weitere Umwandlung ein, und auch wenn es den höchsten Hitzegraden ausgesetzt wird, verliert es nichts von seiner Durchsichtigkeit, zum Unterschied gegen Quarz, welcher in hoher Temperatur (1200°) trüb wird, weil er in Tridymit übergeht[2]).

Der Tridymit ist demnach bei gewöhnlicher Temperatur rhombisch, bei einer 130° übersteigenden Temperatur hexagonal. Die hexagonale Modification ist aber nicht identisch mit Quarz, da nicht anzunehmen ist, dass durch die verhältnissmässig geringe Temperaturerhöhung das specifische Gewicht von 2,28 auf 2,65 steigt, und da der Quarz bei hohen Temperaturgraden sich anders verhält wie Tridymit.

Da Tridymit, soweit wir wissen, bei hoher Temperatur sich gebildet hat, so ist anzunehmen, dass er zur Zeit der Bildung hexagonal und optisch einaxig war, und erst später in die rhombische Modification übergegangen ist.

---

1) Vergl. u. a. Naumann-Zirkel, Mineralogie XI. Aufl. Fig. 3. p. 349.

2) G. Rose, Ber. d. Deutschen chemisch. Ges. 1869. Bd. 21. p. 830.

Cristobalit.

Literatur.

G. vom Rath und M. Bauer. Über Cristobalit vom Cerro S. Cristóbal bei Pachuca (Mexico). N. Jb. 1887, I. p. 188—200.
E. Mallard. Sur la tridymite et la christobalite. Bull. min. XIII. p. 172—178. 1890.

Der Cristobalit, eine weitere Modification der Kieselsäure, ist von G. vom Rath entdeckt und nach dem Fundort benannt worden. Die Kryställchen finden sich, manchmal von Tridymit begleitet, auf den Wänden von Hohlräumen in einem Gestein vom Cerro S. Cristóbal bei Pachuca in Mexico; sie sind weiss, matt und wenig durchsichtig. Ihre Form ist octaëdrisch, entweder einfache Octaëder (bis 2 mm gross) oder spinellähnliche Zwillinge (bis 4 mm gross); letztere stellen sich als dreiseitige Tafeln ohne eine Spur von einspringenden Kanten dar. Die Flächenbeschaffenheit ist mangelhaft, meist sind die Flächen in der Mitte eingesunken; trotzdem konnte Mallard einen Kantenwinkel messen, der gefundene Werth von 109° 39′ nähert sich sehr dem des regulären Octaëders. Auch G. vom Rath hatte die Krystalle als reguläre Octaëder bestimmt.

Die von G. vom Rath ausgeführte Analyse hat ergeben, dass die Krystalle im wesentlichen aus Kieselsäure bestehen; in nicht ganz reinem Material fand er 91,0% SiO_2 und 6,2% Fe_2O_3 mit Al_2O_3.

Das specifische Gewicht, nach G. vom Rath = 2,27, nach Mallard 2,34, weicht nur wenig von dem des Tridymit (2,28—2,32) ab.

Da nun bei Tridymit durch Drillingsbildung der Winkel des regulären Octaëders zu Stande kommen kann, so lag die Vermuthung nahe, dass die Octaëder Zwillingsgebilde von Tridymit seien; dass dies aber nicht der Fall ist, beweist das optische Verhalten bei gewöhnlicher und höherer Temperatur.

Bei gewöhnlicher Temperatur sind die Krystalle allerdings doppelbrechend, aber, wie M. Bauer hervorhebt, spricht die Art und Weise der Doppelbrechung entschieden gegen einen pseudoregulären Zwillingsstock von Tridymit. Die Untersuchungen Mallard's führen zu demselben negativen und zu einem sehr bemerkenswerthen positiven Resultat:

Eine Platte parallel einer Octaëderfläche zeigt drei Systeme von verschieden orientirten doppelbrechenden Theilen, welche unregelmässig durch einander liegen. Ein ziemlich grosser Theil der Platte bleibt einfachbrechend, wahrscheinlich weil an diesen Stellen verschieden orientirte Theile sich überlagern.

Eine Platte senkrecht zu einer Axe des Octaëders (à l'axe quadratique de l'octaèdre) zeigt wieder drei Systeme von verschieden orientirten Theilen. Eins ist im parallelen Licht fast einfachbrechend, die andern ziemlich stark doppelbrechend. Im convergenten Licht geben diese keine Erscheinung, in den dunklen Theilen aber sieht man sehr deutlich das schwarze Kreuz eines einaxigen, negativen Krystalls; bei dem Drehen des Präparates geht das schwarze Kreuz nur wenig auseinander.

Der Cristobalit ist demnach quadratisch und pseudoregulär, ein Octaëder besteht im regelmässigsten Fall aus drei quadratischen Krystallen, in denen die Richtungen der Basisflächen den Richtungen der drei Würfelflächen entsprechen.

Den mittleren Brechungsexponent fand Mallard gleich 1,432 und $\omega - \varepsilon = 0{,}00053$ ungefähr.

Ausser durch die optische Structur unterscheidet sich Cristobalit von Tridymit durch das Verhalten in der Wärme. Zwar wird er ebenso wie Tridymit in eine andere Modification übergeführt, aber die Umwandlung geht nicht bei 130° vor sich, wie bei Tridymit, sondern erst bei 175°. Bei dieser Temperatur verschwindet plötzlich die Doppelbrechung und der Cristobalit ist einfachbrechend, regulär geworden; sinkt die Temperatur unter 175°, so wird er wieder doppelbrechend. Auf noch höhere Temperatur erhitzt, bleibt Cristobalit unverändert.

Der Cristobalit ist demnach bei gewöhnlicher Temperatur quadratisch, pseudoregulär; ein Octaëder besteht aus drei Individuen, jede der drei Axen ist die Richtung einer optischen Axe. Bei einer 175° übersteigenden Temperatur ist er einfachbrechend und wie die Form regulär.

Bemerkenswerth ist die Ähnlichkeit der optischen Structur mit der des Leucit. Auch bei Leucit können die Richtungen der drei auf einander senkrechten Axen zu den Richtungen der optischen Axe, bezw. der ersten Mittellinie des kleinen Axenwinkels werden.

In Anschluss an Tridymit und Cristobalit sei es gestattet, das Verhalten der verschiedenen Modificationen der Kieselsäure, das wir vorzugsweise durch Mallard und Le Chatelier kennen gelernt haben, mit wenigen Worten zu erwähnen.

Die verschiedenen Modificationen der Kieselsäure theilt Mallard in zwei Familien, in die des Quarzes und die des Tridymit; zu der ersteren Familie rechnet er Quarz und Chalcedon mit dem specifischen Gewicht von etwa 2,65, zu der zweiten Tridymit und Cristobalit mit dem specifischen Gewicht von etwa 2,3.

Der Quarz, optisch einaxig und circularpolarisirend, soll aus zweiaxigen Lamellen aufgebaut sein; ein Beweis für diese Annahme ist nicht erbracht und wir halten sie nicht für richtig (vergl. Quarz). Sehr auffallend ist das Verhalten des Quarzes bei höherer Temperatur, namentlich bei 570°.

Beim Erhitzen dehnt sich der Quarz aus, zwischen 480° und 570° wird die Ausdehnung plötzlich grösser, das Volumen nimmt plötzlich zu, »il parait donc à cette température se produire un changement brusque des dimensiones dans le quartz«. Über 570° erhitzt dehnt er sich nicht weiter aus, sondern zieht sich susammen[1]).

Fine Platte senkrecht zur Axe geschnitten $10 \times 10 \times 3$ mm gross »acquiert brusquement entre 560° et 580° une double réfraction énergique qui dispa-

[1]) H. Le Chatelier. Sur la dilatation du quartz. Bull. min. XIII. p. 112—118. 1890.

rait aussitôt après«. Derselbe Vorgang wiederholt sich, so oft diese Temperatur aufsteigend oder absteigend passirt wird. Zwischen 0—570° erfolgt das Wachsen der Circularpolarisation ziemlich schnell, über 570° sehr langsam[1].

Die Doppelbrechung des Quarzes wird beim Erhitzen bis 570° geringer, bei 570° tritt plötzlich eine Änderung ein und über 570° wird sie wieder grösser[2].

Alles dies deutet mit Bestimmtheit darauf hin, dass bei 570° eine Umlagerung im Quarz stattfindet.

Bei einer 1000° übersteigenden Temperatur ist Quarz nicht mehr beständig, er wird allmählich trüb und geht, ohne vorher zu schmelzen, in Tridymit über.

Die zweite Familie enthält die beiden nahe verwandten Mineralien, den Tridymit und Cristobalit.

Der Tridymit ist bei gewöhnlicher Temperatur rhombisch, pseudohexagonal, durch Zwillingsbildung auch pseudoregulär. Bei 130° wird er optisch einaxig, hexagonal.

Der Cristobalit ist bei gewöhnlicher Temperatur quadratisch, pseudoregulär; über 175° einfachbrechend, regulär.

Beide Mineralien sind bei den höchsten Temperaturgraden (bis zum Schmelzen) beständig und haben sich so gut wie sicher bei hoher Temperatur gebildet; sie sind auch bei niederer Temperatur beständig, aber weniger symmetrisch und sind weniger widerstandsfähig als Quarz. Beide werden durch Alkalien zersetzt, und wie Quarz bei hoher Temperatur in Tridymit übergeht, so geht Tridymit durch Zersetzung bei niederer Temperatur in Quarz über, wie die Pseudomorphosen von Quarz nach Tridymit uns lehren.

Die beiden Familien der Kieselsäure, obwohl in vielen Eigenschaften verschieden, sind doch in einer Hinsicht krystallographisch verwandt, wie Mallard besonders hervorhebt. Das Axenverhältniss des Tridymit, auf die hexagonale Form bezogen, ist

$$a : c = 1 : 1{,}6529$$

oder, wenn die Länge der Verticalaxe mit $\frac{2}{3}$ multiplicirt wird:

$$a : c = 1 : 1{,}103,$$

das des Quarzes aber ist

$$a : c = 1 : 1{,}100.$$

Die Eigenschaften der verschiedenen Modificationen der Kieselsäure scheinen mir nun nicht dafür zu sprechen, dass die Mallard'sche Erklärung der Dimorphie richtig ist. Zunächst müsste man annehmen, dass der Cristobalit aus Lamellen von der Beschaffenheit des Tridymit aufgebaut ist: »Il est naturel de penser que la christobalite est formée par un groupement, d'ordre molé-

[1] H. Le Chatelier. Sur la polarisation rotatoire du quartz. Bull. min. XIII. p. 119—123. 1890.

[2] E. Mallard et H. Le Chatelier. Sur la variation qu'éprouvent, avec la température, les biréfringences du quartz etc. Ebenda, p. 123—129.

culaire, des molécules de la tridymite, mais ici, contrairement à ce qui se produit dans la première famille, le groupement modifie quelque peu certaines propriétés physiques et, entre autres, la température du changement d'état. Le changement d'état lui-même existe toujours; seulement comme il se produit sur une substance amenée à l'uniaxie par le groupement, il conduit à l'uniréfringence.« Als einzige Stütze für seine Annahme kann Mallard die schwache Doppelbrechung des Cristobalit anführen: »Ce qui semble confirmer cette manière de concevoir la constitution de la christobalite, c'est la faible valeur de sa biréfringence, beaucoup plus petite que celle de la tridymite. On sait, en effet, que les groupements diminuent toujours la biréfringence.« Dieser Grund aber beweist nicht, was er soll, weil er nicht allgemein richtig ist. Nach Mallard's Auffassung ist Kalkspath z. B. aus den zweiaxigen Lamellen des Aragonit aufgebaut, aber doch stärker doppelbrechend als Aragonit; denn es ist $\omega - \varepsilon = 0{,}16917$, während bei Aragonit

$$\alpha - \gamma = 0{,}15576$$

und

$$\beta - \gamma = 0{,}15171$$

ist. Man hat daher kein Recht anzunehmen, dass der Cristobalit aus Tridymitlamellen aufgebaut sei; man müsste, um diesen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, annehmen, dass die Krystalle beider Mineralien aus Lamellen einer wenig symmetrischen Modification aufgebaut seien, die man nicht kennt.

Ebenso ist es mit Quarz. Dass Quarz aus Lamellen von Tridymit bestünde, ist wegen der abweichenden Eigenschaften und weil Tridymit über 130° selbst hexagonal ist, ausgeschlossen, auch weder von Mallard noch von Wyrouboff angenommen. Ebensowenig kann man annehmen, dass der Quarz aus Lamellen von Chalcedon bestehe, da Chalcedon noch nicht genügend bekannt ist, und man gar nicht weiss, ob er die Eigenschaften besitzt, die die gesuchte Substanz haben muss, um einen Krystall von den Eigenschaften des Quarzes zu liefern. Mallard wie Wyrouboff (vergl. bei Quarz) müssen zugeben, dass die zweiaxigen Lamellen, aus denen nach ihrer Ansicht der Quarz aufgebaut ist, einer unbekannten Modification angehören.

Ich meine doch, dass durch solche Annahmen die Wissenschaft nicht gefördert wird. Die Annahme von unbekannten Modificationen ist sehr bequem und noch bequemer ist es, das Vorkommen von mehreren Modificationen einer Substanz, das Auftreten von optischen Anomalien und die Circularpolarisation durch zwillingsartige Verwachsung von Lamellen einer unbekannten Modification zu erklären, aber bewiesen ist es nicht. Etwas wahres mag daran sein, aber einstweilen müssen wir noch gestehen, dass wir die Ursache der Dimorphie nicht kennen, dass wir vor einem Räthsel stehen, dessen befriedigende Lösung wir noch nicht gefunden haben.

Katapleït.

Literatur.

W. C. Brögger. Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge etc. Z. Kr. XVI. p. 434—461. 1890.

Der Katapleït kommt in zwei, durch ihre chemische Zusammensetzung verschiedenen Varietäten vor, dem blauen Natronkatapleït, $Na_2 H_4 Zr Si_3 O_{11}$, und dem gewöhnlichen gelben Kalknatronkatapleït, in dem ein Theil des Natriums durch Calcium ersetzt ist.

Die Krystallform des Katapleït wurde bisher als hexagonal betrachtet, obwohl die Messungen an dem früher bekannten Material wenig übereinstimmende Werthe ergaben. Die Krystalle würden begrenzt sein von ∞P, $0P$, P und andern untergeordnet auftretenden Formen, deren Vertheilung darauf hinweist, dass der (ursprüngliche) hexagonale Katapleït einer tetartoëdrischen Abtheilung des hexagonalen Systems angehörig gewesen sein muss. Durch sehr sorgfältige Untersuchung guter Krystalle des blauen Natronkatapleït gelang es W. C. Brögger nachzuweisen, dass der Katapleït bei gewöhnlicher Temperatur monoklin ist, aber schon bei 140° in die geometrisch sehr nahe stehende hexagonale Form übergeht.

Aus den besten gemessenen Winkeln berechnet Brögger für die monokline Form das Axenverhältniss:

$$a : b : c = 1,7329 : 1 : 1,3618$$
$$\beta = 89^0\, 48\tfrac{1}{2}',$$

hebt aber hervor, dass dies Axenverhältniss nur den Messungen an einigen der besten (ganz kleinen) Krystalle entspricht, da die Winkelwerthe der Natronkatapleïtkrystalle nicht constant sind, sondern an verschiedenen Krystallen erhebliche Abweichungen zeigen können. Ausserdem findet man fast regelmässig für Winkel, welche ihrer Flächenlage nach an Einzelkrystallen identisch sein sollten, an einem und demselben Krystall ganz abweichende Zahlen, was auf einem sehr durchgreifenden Zwillingsaufbau beruht.

Um diesen zu entziffern und zu prüfen, ob die bei gewöhnlicher Temperatur herrschenden Verhältnisse vielleicht von secundärer Entstehung sein könnten, und ob der Katapleït vielleicht doch — ebenso wie der Tridymit — bei seiner Bildung einer hexagonalen Formengruppe angehörig gewesen sei, hat Brögger den Katapleït einer genauen optischen Untersuchung unterworfen, deren Resultate wir im Folgenden mittheilen.

Schliffe nach der Basis besassen durchgehends einen optisch zweiaxigen Charakter und zeigten, dass die Krystalle stets Zwillinge sind mit einer oft recht complicirten Verwachsung oder Durchkreuzung der einzelnen Individuen; optisch isotrope Stellen wurden auch in hinreichend dünnen Schliffen niemals beobachtet.

»Die basischen Schliffe zeigen, wie erwähnt, immer einen sehr complicirten Zwillingsbau, wobei hauptsächlich die Flächen des hexagonalen Grundprismas als Zwillingsebenen fungiren. Die drei Orientirungen, welche sich in Zwillingsstellung zu einander befinden, durchkreuzen sich gewöhnlich in sehr inniger Durchwachsung, so dass die Präparate nach der Basis ein ganz buntes Mosaik darstellen; seltener gehören grössere zusammenhängende Theile einem Individuum an. In solchen Fällen kann man sich dann leicht davon überzeugen, dass die optische Axenebene senkrecht oder jedenfalls äusserst nahe senkrecht zur Kante $0P:\infty P$ der hexagonalen Stellung orientirt ist.

»Aus Krystallen, welche zuerst parallel einer hexagonalen Fläche $\infty P2$ durchgesägt waren, wurden Präparate nach der Basis geschliffen; als in einem derselben sich gezeigt hatte, dass in den Theilen, welche an die Schnittfläche nach $\infty P2$ angrenzten, die Orientirung einheitlich und einem Individuum mit der Axenebene parallel dieser Schnittfläche angehörig war, wurde nun von dem anderen Theile des durchschnittenen Krystalls ein Präparat parallel der Schnittfläche ($\infty P2$) und möglichst nahe derselben geschliffen. In diesem Präparat wurde ein Auslöschungswinkel von ca. $3\frac{1}{2}^{\circ}$ gegen die Tracen von $0P$ erhalten. Die spitze Bisectrix liegt also in der (monosymmetrischen) Symmetrieebene und bildet mit der Verticalaxe einen Winkel von ca. $3\frac{1}{2}^{\circ}$, ob im spitzen oder im stumpfen Winkel β, konnte ich nicht entscheiden, da an diesen grösseren Krystallen die Messungen der Zone $c:a$ nicht hinreichend genau schienen. Andere Schliffe nach hexagonalen $\infty P2$-Flächen gaben Auslöschungswinkel von $1\frac{1}{2}^{\circ}$—$2\frac{1}{2}^{\circ}$, ausnahmsweise auch parallele Auslöschung.

»Die Grösse des Axenwinkels ist in hinreichend dünnen Schliffen, wo nicht Theile ungleicher Orientirung über einander liegen, immer scheinbar dieselbe; ich schätzte den scheinbaren Axenwinkel durch Vergleich mit Axenwinkeln von bekannter Grösse auf ungefähr 60°.

»Selbst in Krystallen von nur $\frac{1}{2}$ mm Dicke liegen dagegen gewöhnlich ungleich orientirte Theile über einander, sodass dieselben in parallelem Licht zwischen gekreuzten Nicols in keiner Stellung dunkel werden und in convergentem Licht ein verworrenes Interferenzbild geben.

»Dünnschliffe nach $\infty P2$ der hexagonalen Orientirung zeigen sich gewöhnlich zum grössten Theil scheinbar einheitlich, indem die kleinen Differenzen der Auslöschung der verschieden orientirten Theile so gering sind, dass sie beim ersten Anblick nicht bemerkt werden. Bei näherer Betrachtung erkennt man jedoch oft sehr feine Lamellen, welche mit der Trace der Basis ca. 32° bilden; dieselben sind gewöhnlich so fein, dass ihre Auslöschung sich nicht scharf messen liess. Der gemessene Winkel scheint anzudeuten, dass die feinen Lamellen Zwillingslamellen nach der hexagonalen Grundpyramide P sind, nach dem auch makroskopisch beobachteten Gesetze. Ausserdem sieht man, gewöhnlich zahlreicher, ebenso feine zierliche Lamellen, welche entweder parallel den Tracen der Basis verlaufen oder mit dieser nur einen ganz geringen Winkel bilden. Auch bei diesen liess sich die Auslöschung in

der Regel nicht bestimmt fixiren: für die feinen, der Basis parallelen Lamellen erhielt ich in einem Präparate einen Auslöschungsunterschied von ca. 4°, was einem Auslöschungswinkel gegen die Tracen der Basis von ca. 2° entsprechen würde. Die Präparate nach $\infty P2$ (hexagonaler Stellung) erhalten durch diese feinen Lamellenbildungen ein eigenthümliches marmorirtes Aussehen. Ausser den ganz feinen Zwillingslamellen nach P und $0P$ sowie der $0P$ nahe liegenden Richtung, findet man in Präparaten nach $\infty P2$ auch noch breitere, theils mehr verwaschene, theils recht scharfe Lamellen nach ∞P (hexagonaler Stellung), welche unter sich einen Auslöschungsunterschied von ca. 5°—7° erwiesen. Diese Lamellen entsprechen natürlich der in Basisschliffen sichtbaren Feldertheilung. Die Schliffe nach dem hexagonalen $\infty P2$ zeigen übrigens, dass die Doppelbrechung des Katapleït eine starke ist (nach Michel-Lévy und Lacroix, Min. d. roch. S. 166 = 0,030), was den Unterschied der parallel der Verticalaxe und senkrecht dazu schwingenden Strahlen betrifft; die Interferenzfarben sind nämlich selbst in dünnen Schliffen sehr lebhaft, von zweiter Ordnung.

»In Schliffen parallel zur Basis zeigt sich die Doppelbrechung niedrig, ungefähr $\beta - \alpha = 0{,}004$. Dieselbe ist wie bekannt positiv. Eine Dispersion der optischen Axen konnte ich nicht beobachten.

»Obwohl die eben beschriebenen optischen Verhältnisse des Katapleït sehr constant und unveränderlich sind, schien es mir doch theils aus oben berührten Gründen, theils auch wegen der in manchen Beziehungen bemerkenswerthen Analogien zwischen dem Katapleït und Tridymit von Interesse, zu untersuchen, ob sich vielleicht die optischen Verhältnisse bei höherer Temperatur wesentlich ändern. Für diesen Zweck wurde eine nach der Basis geschliffene Platte von Natronkatapleït in einen Fuess'schen Erhitzungsapparat eingeschlossen und zuerst in parallelem Lichte zwischen gekreuzten Nicols so eingestellt, dass von den beiden durch einander gewachsenen Individuen, aus denen die Platte bestand, die dem einen angehörigen Theile dunkel, die dem andern angehörigen Partien, welche theilweise grössere zusammenhängende Flächen einnahmen, hell waren; nun wurde die Temperatur langsam erhöht. Erst bei 120° fing die Platte an durchgehends dunkler zu werden, und bei ca. 140° wurde dieselbe ziemlich rasch vollständig isotrop. Die Feldertheilung war verschwunden und die ganze Platte gleichmässig dunkel. Beim Abkühlen wurde die Platte bei ca. 140° wieder doppelbrechend; es leuchteten wieder sehr rasch die früher doppelbrechenden Partien auf und zwar mit ihrer früheren Begrenzung. Eine Änderung der Feldertheilung konnte ich nicht beobachten. Dieser Versuch konnte, so oft man wollte, mit demselben Resultat wiederholt werden; immer wurde bei ca. 140° die Platte isotrop, beim Abkühlen wieder doppelbrechend mit ihrer früheren Feldertheilung. Versuche mit verschiedenen (in Öl oder in Paraffin zwischen einem Objectglase und einem Deckgläschen) eingelegten basischen Platten von Natronkatapleït gaben immer übereinstimmende Resultate.

»Um zu entscheiden, ob der Natronkatapleït bei der genannten Temperatur von ca. 140° optisch einaxig wurde, versuchte ich, nachher die erwärmten Platten in convergentem Lichte zu beobachten. Ich erhitzte die Präparate dabei bis zum anfangenden Kochen des fetten Öles, worin sie eingelagert waren, und brachte sie schnell auf den Tisch des für Beobachtung in convergentem Lichte eingerichteten Mikroskopes. Die Platten zeigten sich dabei bei der höheren Temperatur vollständig einaxig (und in parallelem Lichte bei ganzer Umdrehung dunkel). Beim Abkühlen zeigte sich in convergentem Lichte, dass der Axenwinkel, wenn eine Änderung einzutreten anfing, zuerst ziemlich rasch, dann etwas langsamer von 0° bis zu ungefähr 60° zunahm.

»Endlich wurden Schliffe nach $\infty P2$ (hexagonaler Stellung) auf ca. 150° erhitzt. Sämmtliche Zwillingslamellen waren bei dieser Temperatur verschwunden und der ganze Schliff vollständig einheitlich mit Auslöschung parallel zu den Tracen nach $0P$; beim Abkühlen bildeten sich sofort die Lamellen wieder und die Auslöschung wurde wieder schief.

»Es war also durch die oben dargestellten Beobachtungen entschieden, dass der Natronkatapleït (und dasselbe gilt auch für den gewöhnlichen Katapleït) schon bei einer Temperatur von ca. 140° in optischer Beziehung die hexagonale Symmetrie annimmt.«

Die weitere Untersuchung, ob auch in geometrischer Beziehung eine Änderung der bei gewöhnlicher Temperatur einer monosymmetrischen Symmetrie entsprechenden Krystallwinkel beim Erhitzen der Krystalle eintrete, hat ergeben, dass eine messbare Änderung der Winkel des Natronkatapleït, welche der optischen Änderung entsprechen würde, beim Erhitzen bis auf 173° nicht eintritt.

Brögger schliesst diese Betrachtungen mit den Worten:

»Die beobachteten optischen Verhältnisse, ebenso wie die grosse Annäherung in geometrischer Beziehung, machen es jedenfalls sehr wahrscheinlich, dass der Katapleït bei der höheren Temperatur, bei welcher derselbe gebildet wurde und bei den während seiner Bildung herrschenden Druckverhältnissen, hexagonal gewesen ist, bei gewöhnlicher Temperatur aber die hexagonale Gleichgewichtslage nicht beibehalten konnte. Die secundäre, bei gewöhnlicher Temperatur herrschende Anordnung der Theilchen ist, wie die oben dargestellten Untersuchungen zeigen, jedenfalls bei vollkommener ausgebildeten Krystallen eine monosymmetrische.«

Am Schluss dieser Gruppe möge seine Stelle finden als Anhang:

Mikroklin.

Literatur.

1. A. Breithaupt. Über die Felsite. Schw. J. 60. p. 324. 1830 und Berg- u. Hüttenm. Zeitg. 1858.

2. A. Des Cloizeaux. Mémoire sur l'existence, les propriétés optiques et crystallographiques, et la composition chimique du microcline etc. A. Chim. 5. Sér. T. IX. 1876.

3. E. Mallard. Anom. opt. p. 157. 1876.
4. A. Michel-Lévy. Identité probable du microcline et de l'orthose. Bull. min. II. p. 135. 1879.
5. P. Mann. Über Mikroklin in Perthit. N. Jb. 1879. p. 389.
6. G. Woitschach. Das Granitgebirge von Königshayn. Abhandl. d. naturf. Ges. Görlitz 1881. 17. Referat im N. Jb. 1882, II. p. 12. Z. Kr. VII. p. 82.
7. F. Klockmann. Beitrag zur Kenntniss der granitischen Gesteine des Riesengebirges. Z. g. G. 34. p. 378. 1882.
8. W. C. Brögger. Die silurischen Etagen 2 und 3 im Kristianiagebiet und auf Eker. 1882. p. 303—305 und Z. Kr. X. p. 498 mit Brief von Brögger an Rosenbusch.
9. A. Beutell. Beiträge zur Kenntniss der schlesischen Kalinatronfeldspathe. Z. Kr. VIII. p. 351—377. 1883.
10. H. Förstner. Über die Feldspathe von Pantelleria. Z. Kr. VIII. p. 125—203. 1883.
11. J. H. Kloos. Beobachtungen am Orthoklas und Mikroklin. N. Jb. 1884, II. p. 87.
12. H. Förstner. Über künstliche physikalische Veränderungen der Feldspäthe von Pantelleria. Z. Kr. IX. p. 333—352. 1884.
13. J. Lehmann. Über die Mikroklin- und Perthitstructur und deren Abhängigkeit von äusseren, z. Th. mechanischen Einflüssen. Jahresber. der Schles. Ges. für vaterl. Cult. Breslau 1885.
14. C. Chelius. Beiträge zur geologischen Karte des Grossherzogthums Hessen. Notizblatt d. Vereins f. Erdkunde zu Darmstadt. 4. Folge, Heft 5. p. 35. 1885.
14a. K. Oebbeke. Mikroklin und Muscovit von Forst bei Meran (Tirol). Z. Kr. XI. p. 256. 1886.
15. A. E. Törnebohm. Über das bituminose Gestein vom Nullaberg in Schweden. N. Jb. 1888, II. p. 1—15.
16. A. Sauer. Erläuterungen zur geol. Specialkarte des Königreichs Sachsen. Section Meissen. p. 23. 1889.
17. W. C. Brögger. Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der südnorwegischen Augit- und Nephelinsyenite. Z. Kr. XVI. p. 524—564. 1890.
18. F. Rinne. Über Mikroklinstructur. N. Jb. 1890, II. p. 66—70.
19. A. Sauer und N. V. Ussing. Über einfachen Mikroklin aus dem Pegmatit von Gasern unterhalb Meissen. Z. Kr. XVIII. p. 192—208. 1890.

Breithaupt hat i. J. 1832 (1) den schillernden Feldspath des Zirkonsyenits von Frederiksvärn und Laurvig in Norwegen und später noch einige andere als zum triklinen System gehörig unter dem Namen Mikroklin vom Orthoklas getrennt, weil er den Winkel der beiden Hauptblätterbrüche P/M 0° 22′ vom Rechten abweichend gefunden hatte. Seitdem wurde der Name Mikroklin namentlich für die schillernden Feldspathe Norwegens beibehalten, dieselben aber doch in der Regel unter den monoklinen Feldspathen aufgeführt u. a. in der I. Auflage der mikroskopischen Physiographie von Rosenbusch 1873.

Erst A. Des Cloizeaux hat 1876 (2) durch ausgedehnte optische Untersuchungen nachgewiesen, dass viele Kalifeldspathe in Spaltblättchen nach dem Hauptblätterbruch P nicht parallel der Kante P/M, sondern etwa $15\frac{1}{2}°$ schief hierzu auslöschen, sich also auch optisch wie triklin verhalten. Die Spaltblättchen erscheinen im polarisirten Licht fast niemals homogen, sondern nach der Kante P/M durch oft wiederholte Zwillingsbildung nach dem Albitgesetz fein gestreift, oder fein gegittert, wenn Zwillingsbildung in gleicher Weise nach dem Albit- und Periklingesetz stattgefunden hat. Innerhalb der Mikroklinmasse liegen fast immer gerade auslöschende Theile von Orthoklas, und das Ganze wird durchzogen von unregelmässigen, oft verzweigten Schnüren von

Albit. Niemals ist der Mikroklin auf grössere Strecken hin frei von solchen Einlagerungen.

Seit dieser Zeit wird der Mikroklin unter den triklinen Feldspathen aufgeführt, und man betrachtet ziemlich allgemein die Substanz des Kalifeldspathes



$$K\,Al\,Si_3\,O_8$$

als dimorph, als monoklin und triklin. Beide Modificationen würden sich in der Formenausbildung, in den Werthen entsprechender Winkel, den Spaltrichtungen, der Härte und dem specifischen Gewicht so ausserordentlich nahe stehen, dass wir aus den als unzweifelhaft dimorph erkannten Substanzen keinen ähnlichen Fall aufführen können.

Es hat daher auch nicht an Versuchen gefehlt, diese auffallenden Thatsachen zu erklären.

Schon Mallard hatte 1876 angenommen, dass das Molekularnetz des Kalifeldspathes triklin sei, wie das des Natronfeldspathes, und dass die monokline Form des Orthoklases durch oft wiederholte zwillingsartige Verwachsung der triklinen Schichten zu Stande käme (3. p. 158):

»Ces phénomènes s'expliquent aisément en admettant que le réseau du feldspath à base de potasse est triclinique, comme celui du feldspath à base de sonde, dont il ne diffère que par de légères variations dans les angles fondamentaux, et que l'orthose clinorhombique dérive de ce réseau triclinique à forme-limite, grâce aux assemblages dont il est susceptible.«

Dieselbe Annahme hat später (4) Michel-Lévy weiter ausgeführt, wobei er sich auf die Beobachtung stützte, dass die Zwillingslamellen des Mikroklin auch in den dünnsten Präparaten und bei den stärksten Vergrösserungen allmählich in einander zu verlaufen scheinen und in vielen Fällen so schmal werden, dass sie kaum mehr zu unterscheiden sind; in diesem Fall verhalten sich die Blättchen stellenweis optisch wie Orthoklas, d. h. sie zeigen gerade Auslöschung. Durch ausführliche Betrachtungen sucht Michel-Lévy darzuthun, dass die optischen Eigenschaften des Orthoklases in der That durch submikroskopische Zwillingsverwachsung trikliner Lamellen zu Stande kommen können:

Durch innige Zwillingsverwachsung der triklinen Lamellen nach dem Albit- und Periklingesetz wird das Brachypinakoid zu einer Symmetrie-Ebene, welche zugleich die Ebene der optischen Axen ist. Die als Zwillingsaxe fungirende Makrodiagonale, welche nahezu mit der Normalen zum Brachypinakoid zusammenfällt, wird zur optischen Normalen, die andern optischen Elasticitätsaxen haben die Lage wie im Orthoklas. Dieser zeigt auf $M = \infty \breve{P} \infty (010)$ im Mittel eine Auslöschungsschiefe von 5^0 mit Kante P/M, welchem Werthe die Auslöschungsschiefe bei Mikroklin meist sehr nahe kommt. Ebenso würde die Grösse des optischen Axenwinkels und der Charakter der ersten Mittellinie dieselbe sein wie bei Orthoklas. Die Veränderlichkeit des optischen Axenwinkels des Orthoklases bei Temperaturänderungen erklärt Michel-Lévy durch die Annahme, dass die Lamellen auf einander wirken, »qu'il se développe alors des actions de contact

entre les différentes lamelles submicroscopiques dont se compose l'assemblage«. Diese Einwirkungen zerstören zwar nicht die Symmetrie des Ganzen, deformiren aber das Ellipsoid und dies wird als der wahrscheinliche Grund für die Änderungen des optischen Axenwinkels angesehen.

Auf demselben Standpunkt wie Mallard und Michel-Lévy steht P. Groth, welcher sich in der dritten Auflage seiner »Tabellarischen Übersicht« p. 137 wie folgt äussert:

»Die Feldspathgruppe bietet das wichtigste und ausgezeichnetste Beispiel derjenigen Art von Dimorphie dar, für welche mit höchster Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, dass die beiden Formen, in welchen die chemische Verbindung auftritt, aus den gleichen Krystallmolekülen aufgebaut sind, und sich nur durch die Art ihrer Krystallstructur unterscheiden. Das den »Kalifeldspath« bildende Silicat Si^3O^8AlK erscheint im Mikroklin asymmetrisch, aber stets sind die Krystalle aus zahlreichen Zwillingslamellen derart zusammengesetzt, dass die äussere Form derselben eine anscheinend vollkommen monosymmetrische wird. Innerhalb eines und desselben Krystalls finden sich solche Zwillingslamellen von der verschiedensten Dicke bis zu den feinsten, welche an der Grenze mikroskopischer Sichtbarkeit stehen, und daneben mit fein lamellirten Partien durch Übergänge verbundene Stellen, welche nichts mehr von Zwillingsbildung erkennen lassen und krystallographisch und optisch sich als monosymmetrisch erweisen. Die Partien der letzten Art besitzen nun diejenigen Eigenschaften, welche dem Orthoklas, d. h. dem gleich zusammengesetzten Silicat in monosymmetrischer Krystallform zukommen. Unter den im monosymmetrischen System theoretisch möglichen Arten der Krystallstructur ist demnach für den Orthoklas diejenige anzunehmen, welche aus alternirenden, zu einander in Zwillingsstellung befindlichen Molekularschichten von asymmetrischem Charakter zusammengesetzt ist. Im Mikroklin würden wir dann den Fall vor uns haben, in welchem je eine grössere Zahl auf einander folgender Molekularschichten parallel gestellt sind, und daher der Beobachtung zugängliche Zwillingslamellen bilden, während im Orthoklas ein regelmässiger Wechsel von Schicht zu Schicht eingetreten ist.«

Wenn wirklich die Substanz des Kalifeldspathes nur triklin ist, so sollte man doch erwarten, dass da, wo sie sich am ungestörtesten und im reinsten Zustand abgeschieden hat, im Adular, am ehesten noch der trikline Charakter erkannt werden könnte. Dies ist aber nicht der Fall, die Form des Adular und seine optischen Eigenschaften entsprechen durchaus der Symmetrie monokliner Krystalle. In ihnen soll »ein regelmässiger Wechsel der Orientirung von Schicht zu Schicht« stattgefunden haben, im Mikroklin aber soll »je eine grössere Zahl auf einander folgender Molekularschichten parallel gestellt« sein. Mikroklin aber kennen wir mit Sicherheit nur aus alten Gesteinen; warum, müssen wir fragen, soll die Substanz des Kalifeldspathes nur bei dem Festwerden jener Gesteine die Fähigkeit besessen haben, Lamellen mit mehreren unter einander parallelen Molekularschichten zu bilden? warum finden wir in den jungen Gesteinen keinen Mikroklin?

Mikroklin kennen wir kaum in aufgewachsenen, auf einer beliebigen fremden Unterlage sitzenden Krystallen. Die sogenannten aufgewachsenen Mikroklinkrystalle z. B. aus dem Granit des Riesengebirges sind nicht aufgewachsen, sondern aus dem Gestein, da wo Hohlräume waren, herausgewachsen; jedes Individuum setzt sich in das Gestein fort und ist mit diesem verwachsen. Warum finden wir den Mikroklin nicht frei aufgewachsen an den Wänden von Klüften wie den Adular? Warum finden wir den Mikroklin nur als Bestandtheil von zusammenhängenden Gesteinsmassen und warum nur in alten Gesteinen?

Wir antworten, weil seine Structur secundär ist und entstanden durch den lang andauernden Druck der Gebirgsmassen. Die Krystalle des reinen Kalifeldspathes sind ursprünglich immer monoklin.

Ehe wir versuchen, die Gründe, welche uns zu dieser Auffassung geführt haben, darzulegen, wollen wir die für den Mikroklin charakteristischen Eigenschaften kurz besprechen.

Der Winkel der beiden Hauptblätterbrüche $P:M$, welcher bei Orthoklas 90° beträgt, ist bei Mikroklin ein wenig hiervon verschieden. Die Abweichung beträgt selten mehr als 23 Minuten, ist aber bisweilen verschwindend klein. Des Cloizeaux giebt in seiner Arbeit als Mittelwerth aus zahlreichen, zwischen 90° 10′ und 90° 40′ schwankenden Messungen den Winkel zu 90° 16′ für einen Amazonit aus dem Ural an. Kloos (11) giebt als Werthe für diesen Winkel (bez. Gegenwinkel) 90° 19′ bez. 89° 37′ für Mikroklin vom Baikalsee, 90° 44′ bez. 89° 7′ und 90° 29′ bez. 90° für einfachen Mikroklin aus dem Gneiss von Gothenburg in Schweden an. Beutell (9) hat an drei Stück Mikroklin von Leutmannsdorf im Eulengebirge den Spaltwinkel zu 90° 7½′, 90° 3½′ und 90° 2′ gemessen, bei dem sogenannten einfachen Mikroklin Sauer's (16) weicht dieser Winkel nach seinen Angaben nur wenig, nach meinen Messungen nicht mehr wie eine halbe Minute von 90° ab; nach den neuen Messungen Sauer's (19) schwankt er zwischen 90° 14′ und 90° 42′.

Ebensolchen Schwankungen ist die Auslöschungsschiefe auf $P = 0P\,(001)$ unterworfen. Das Maximum derselben beträgt 15°—16°, das Minimum 0°, und beide Grenzwerthe sind durch eine ununterbrochene Reihe von zwischenliegenden Werthen verbunden.

Wir sehen hieraus, dass gerade diejenigen Eigenschaften, welche auf die trikline Natur des Mikroklin hinweisen, ausserordentlich schwankend sind, jedoch geben wir zu, dass diese Schwankungen durch die Annahme submikroskopischer Zwillingsverwachsungen und vielfacher Übereinanderlagerungen trikliner Schichten erklärt werden können.

Den Beweis, dass die Mikroklinstructur secundärer Entstehung ist, erblicken wir nicht in diesen Schwankungen, sondern in dem Vorkommen des Mikroklin und in der Möglichkeit, die ihm eigenthümliche Structur in monoklinen Kalinatronfeldspathen durch Druck zu erzeugen.

Zahlreiche Forscher haben Mikroklin aus verschiedenen Gegenden untersucht und viele stimmen darin überein, dass seine Structur secundär sei; einige von ihnen nehmen an, dass die Änderungen durch chemische Agentien, andere, dass sie durch mechanische Kräfte bewirkt seien.

Zu der ersteren Annahme neigen F. Klockmann und A. Beutell, welche beide die schlesischen Kalifeldspathe untersucht und die weite Verbreitung der Mikroklinstructur unter den eingewachsenen und »aufgewachsenen« Krystallen nachgewiesen haben. Klockmann (7. p. 386) äussert sich hierüber wie folgt:

»Wenn man die an manchen Mikroklinen beschriebene Gitterstructur vergleicht mit jener, die durch wirkliche doppelte Verzwillingung am Albit oder Labrador hervorgebracht wird, so nimmt sich die letztere doch ziemlich anders aus. Hier scharfe, durchsetzende Lamellen, dort vertuschte, verschwommene Linien und Keile, die thatsächlich mehr an gewisse, durch Aetzung hervorgerufene Zeichnungen erinnern und allerdings auch auf einer inneren Structur beruhen, als an sich kreuzende Zwillingslamellen.

»So lange nicht der definitive Nachweis geliefert ist, dass eine derartige Structur niemals durch Einwirkung von corrodirenden Flüssigkeiten hervorgebracht werden kann, so lange möchte ich zur Erklärung der mitgetheilten Beobachtung auf die Umsetzung des Orthoklases in Mikroklin nicht recurriren. Sollte jedoch dieser Nachweis einmal geliefert werden, so müsste man ganz analog, wie dies für den Albit durchgeführt worden ist, annehmen, dass unter dem Einfluss wässriger Lösungen der Kalifeldspath aus der monoklinen Modification des Orthoklases in die trikline des Mikroklins übergeführt werden kann.«

Man sieht, Klockmann spricht sich sehr vorsichtig aus und mit Recht; denn wir können allerdings nicht sagen, ob und warum durch Einwirkung einer wässrigen Lösung aus Orthoklas Mikroklin hervorgehen kann.

Ein Vertreter der andern Ansicht, dass der Mikroklin durch Einwirkung mechanischer Kräfte aus Orthoklas hervorgegangen sei, ist J. Lehmann. Als besonders lehrreich in dieser Beziehung führt er den Kalifeldspath aus dem Gneiss von Silberberg bei Bodenmais an:

»Fertigt man Dünnschliffpräparate und werden diese nicht gar zu grossen und einheitlich entwickelten Stellen entnommen, so giebt sich bald zu erkennen, dass die innere Structur nicht in allen Theilen gleichartig ist. Grosse Stellen löschen bei polarisirtem Licht und bei gekreuzten Nicols einheitlich wie Orthoklas aus; aber gegen den Rand des Korns und gegen das auf Sprüngen oder in Körnchen eingelagerte Erz hin verliert sich diese Einheitlichkeit; verschwommene Lichtstreifen bleiben bestehen, grenzen allmählich immer schärfer gegen einander ab und gehen in die zierliche gekreuzte Streifung des Mikroklins über. Die Mikroklinstructur entwickelt sich in diesen Feldspathen ganz ersichtlich an solchen Stellen, wo infolge ungleichen mineralischen Bestandes und ungleicher Dichtigkeit Spannungen bei irgend welchen mechanischen Veränderungen im Gesteinskörper entstehen mussten. Dort, wo

die Spannungen eine genügende Höhe erreichten, bildete sich durch Übergang in eine andere Molekularlage und Gruppirung feiner Lamellen in Zwillingsstellung typischer Mikroklin, an andern Stellen verblieb die Feldspathsubstanz in einem Zwischenstadium. Da in diesem Falle der typische und stabile Zustand des Mikroklin nicht erreicht worden ist, wird man naturgemäss von einem Orthoklas sprechen müssen, dessen anormale optische Erscheinungen durch Spannungen zu erklären sind. Solche Partien dürften bei geeigneter Behandlung, wie etwa starke Erhitzung, wieder in den früheren Zustand zurückkehren und einheitlich auslöschen.

»Die Mikroklinstructur erscheint hier ganz zweifellos als eine secundäre, und auch selbst solche Platten, welche anscheinend in ihrer ganzen Ausdehnung die Mikroklinstructur in der schönsten Weise entwickelt haben, lassen hier und da eine Stelle auffinden, welche optisch sich wie Orthoklas verhält und parallel der Symmetrieebene auslöscht und um welche herum dann alle möglichen Auslöschungsrichtungen bis zu dem am Mikroklin zu beobachtenden Werthe von ungefähr 16° gemessen werden können . . . . und müssen wir wohl den Mikroklin als einen Feldspath betrachten, der bei seiner Entstehung monosymmetrisch krystallisirte, was in der äusseren Form unleugbar zum Ausdruck gekommen ist, später jedoch in seiner Masse mehr oder minder vollständig in die Molekulargruppirung des Mikroklins unter Entstehung vielfacher Zwillingslamellen überging.«

Diese Ansichten von J. Lehmann fanden eine schöne Bestätigung durch eine Beobachtung von C. Chelius, welche er bei Beschreibung der mechanischen Deformationen des Granitporphyrs von der Glashüttenmühle in der Mordach bei Eberstadt mittheilt (14):

»Gegenseitige Zertrümmerungen der Feldspathkrystalle sind oft zu beobachten. Gelbgrüner Magnesiaglimmer und grüne Hornblende winden sich mit der Grundmasse in Bändern um die Feldspathe, so dass wohl eine Fluidalbewegung anzunehmen ist, da das Gestein makroskopisch keine Flaserstructur erkennen lässt. An schmalen Zonen zwischen den Einsprenglingen zeigen die Körner der Grundmasse ein deutliches Aneinanderdrängen in ihrer Längsrichtung. Die Grundmasse ist feinkörniger als in den vorher beschriebenen Gesteinen. In engen Zwischenräumen mehrerer an einander stossender Feldspathe oder zwischen grösseren Glimmer- und Hornblendeansammlungen wird jedoch das Korn der Grundmasse um das doppelte grösser. Die Quarzkörner zeigen dann eigenthümliche Striemen und die Feldspathkörner der Grundmasse erweisen sich z. Th. als Mikroklin.«

Hierzu bemerkt H. Rosenbusch (Physiographie II. Aufl. II. Bd. p. 294): »Diese Schilderung ist um so werthvoller, als sie offenbar ohne jede Beeinflussung von theoretischen Vorstellungen gegeben wird. Das Auftreten des sonst den Granitporphyren fremden Mikroklin in Zonen starken Druckes, der doch nicht stark genug war zur Zertrümmerung und Zerreibung der Grundmasse, kann von grosser Bedeutung für die Auffassung dieses Feldspaths in den Tiefengesteinen und krystallinen Schiefern werden.«

Ähnliche Beobachtungen sind von andern gemacht worden: Das von A. E. Törnebohm (15) untersuchte Gestein vom Nullaberg in Schweden führt als vorherrschenden Bestandtheil Mikroklin, der oft von schmalen, mit Mikroklinpulver ausgefüllten Spalten durchzogen ist; die ganze Gesteinsmasse hat eine durchgreifende Zerquetschung erlitten. Walther Bergt[1]) hat in Orthoklasen eines Porphyrtuffes optische Anomalien, unregelmässige Auslöschung und Lamellen, beobachtet und nimmt an, dass sie durch Druck entstanden seien. Einige geknickte und zertrümmerte Feldspathe zeigten besonders starke Anomalien und an ihnen »glaubt man deutlich die Richtungen heraussehen zu können, in welchen der Druck erfolgte«.

In einer erst kürzlich (18, nach Niederschrift meiner Ausführungen) erschienenen Abhandlung theilt ferner F. Rinne einige Fälle mit, »welche die Auffassung unterstützen, dass die Mikroklinstructur gewisser Feldspathe secundärer Art und zwar durch Druckwirkung hervorgerufen ist«. In den beiden Gesteinen — einem »Stockholmgranit« aus dem Kirchspiel Wermdö östlich von Stockholm und einem Gneiss aus dem zweiten Steinbruche östlich der Rothenburg am Kyffhäuser — zeigt der Feldspath an solchen Stellen, welche durch Sprünge und Zertrümmerungen Druckwirkungen erkennen lassen, charakteristische Mikroklinstructur, während in dem übrigen Feldspath keine Zwillingslamellirung zu erkennen ist.

Dass der aus diesen Beobachtungen gezogene Schluss, die Mikroklinstructur sei secundär und durch Druck entstanden, nicht unberechtigt ist, zeigen die Experimente, welche Förstner mit dem sogenannten Natronorthoklas von der Insel Pantelleria angestellt hat; er konnte ihm durch Druck die Structur eines triklinen Feldspaths verleihen (12. p. 351):

»Zu diesem Zweck dienten wasserhelle, auf beiden Endflächen vorher optisch geprüfte, drei Krystallen entnommene Spaltungsstücke von 0,5 bis 3 mm Dicke, welche einem unmessbaren Druck mittelst Schraubenvorrichtung bis zum Beginn der Zersplitterung ausgesetzt wurden. Nach solcher Behandlung zeigten sich Spaltungsstücke aus dem Innern der angewandten Stücke unverändert, während die durch den Druck zersplitterten Stücke optische Störungen, bezw. zum Theil entgegengesetzt auslöschende, in der Regel streifenförmige Bestandtheile auf den basischen Endflächen aufzuweisen hatten, welche neu entstandenen Individuen von lamellarer Gestalt angehören dürften. Diese Streifen zeigen in jeder Platte unter sich parallele Auslöschung nach den beiden entgegengesetzten Richtungen und verlaufen grösstentheils sehr annähernd parallel der Trace von 010, weichen aber z. Th. bis 6° von dieser Richtung, oftmals in fächerförmiger Stellung ab.«

Ebenso wie durch Druck lässt sich Natronorthoklas durch Erhitzen und Abkühlen aus dem monosymmetrischen Zustand in den asymmetrischen überführen, er bekommt Plagioklasstreifung und eine Auslöschungsschiefe von ca. 2°. Die Erhitzung muss bis gegen 500° gesteigert werden, selten geht

[1]) T. M. M. X. p. 342. 383. 1889.

die Umwandlung schon bei niederer Temperatur (264°) vor sich. Wurde eine Platte von Natronorthoklas kurze Zeit im Gebläsefeuer behandelt und langsam gekühlt, so zeigte sie starke Veränderungen; die Auslöschungsschiefe schwankte in den verschiedenen Feldern zwischen 4° und 11°; die Veränderungen waren aber keine dauernden, sondern wenige Minuten nach dem Abkühlen wurde der grössere Theil wieder monosymmetrisch, während der Rest einheitlich und 1°,3 schief auslöschte.

Umgekehrt gelang es Förstner, natronhaltigen Kalifeldspath mit Mikroklinstructur, seinen »Mikroklin-Albit«, durch Erhitzen in die monosymmetrische Form überzuführen:

»Platten nach $P = 0P(001)$ des Mikroklin-Albits, welche bei gewöhnlicher Temperatur eine deutliche Zwillingsstreifung der feinen nach dem Albitgesetz geordneten Lamellen aufweisen, lassen beim Erwärmen mittels einer kleinen Gebläseflamme entweder schon bei relativ niedriger Temperatur, oder bei entsprechender Steigerung derselben ein plötzliches oder allmähliches Verschwinden der Zwillingsstreifung wahrnehmen, mit welcher gleichzeitig die vorhandene Auslöschungsschiefe verschwindet, um gewöhnlich nach kaum wahrnehmbarem Übergange einheitlicher Auslöschung mit monosymmetrischer Orientirung der Schwingungsrichtung Platz zu machen. Dieser Zustand erhält sich nur während des Erhitzens über eine gewisse Temperatur hinaus, kann aber beliebig oft hervorgerufen werden. Beim Abkühlen der Platte tritt der frühere Elasticitätszustand sehr bald, und gewöhnlich, im Fall nicht gewisse Temperaturen überschritten waren, auch unter Beibehaltung der ursprünglichen Lamellengruppirung wieder ein.«

»Während die Erscheinung bei dem dem Natronorthoklas am nächsten stehenden Feldspath von Cuddia Mida schon bei 86°—115° eintritt, und bei den damit verwandten Mikroklin-Albiten anscheinend bei verschiedenen, ihrer Zusammensetzung entsprechenden Temperaturen wenigstens noch erreichbar ist, bleibt der Mikroklinoligoklas vom Mte. Gibele auch bei einer bis ca. 500° gesteigerten Temperatur bei Anwendung aller verfügbaren Beobachtungsmittel unverändert.«

Ebenso blieben andere Plagioklase, welche sich durch höheren Natrongehalt in ihrer Zusammensetzung dem Albit nähern, unverändert, während mit der Annäherung an die Zusammensetzung des Natron-Orthoklases, d. h. mit zunehmendem Kaligehalt die Temperaturen abnehmen, bei welchen die Krystalle des Mikroklin-Albit in den monosymmetrischen Zustand übergehen, es wächst mit derselben die Labilität ihrer molekularen Gleichgewichtslage. Der reine Kalifeldspath aber kann durch Temperaturänderungen ebenso wenig asymmetrisch gemacht werden, als der reine Natronfeldspath monosymmetrisch.

Offenbar sind diese Umwandlungen nur möglich bei solchen Feldspathen, welche Kali und Natron zugleich enthalten. In den von Förstner zur Untersuchung benutzten Orthoklasen war das Verhältniss von Kali- zu Natron-Orthoklas wie 1 : 2,13; sie konnten durch Druck und Temperaturänderung leicht in die asymmetrische Form umgewandelt werden. In dem Mikroklin-

Albit von Cuddia Mida, welcher durch Erwärmen am leichtesten monosymmetrisch wurde, war das Verhältniss von Kali- zu Natronfeldspath wie 1 : 2,29; und in dem Plagioklas vom Mte. Gibele, welcher durch Erwärmen nicht mehr monosymmetrisch wurde, war das Verhältniss von Kali- zu Natronfeldspath 1 : 4,29. Also nur diejenigen Feldspathe, in welchen das Verhältniss von Kali zu Natron etwa zwischen 1 : 2,13 und 1 : 2,29, vielleicht auch innerhalb etwas weiterer Grenzen liegt, kommen sowohl mono- als asymmetrisch vor, und können aus dem einen in den andern Zustand durch Druck etc. übergeführt werden, die reinen Endglieder sind nur monosymmetrisch im Kalifeldspath, nur asymmetrisch im Natronfeldspath.

Dass chemisch nahezu gleich zusammengesetzte Kali-Natronfeldspathe monosymmetrisch und asymmetrisch vorkommen, erklärt Förstner durch die Annahme, dass bei ihrer Bildung monosymmetrische Anordnung der kleinsten Theilchen erfolgte. »Erst infolge der nach der Erstarrung eingetretenen Abkühlung und der dadurch bedingten Contraction der Feldspathsubstanz und der ihres Muttergesteins dürfte für den Mikroklin-Albit unter Abgabe von Wärme seine gegenwärtige Gleichgewichtslage geschaffen worden sein«, während der Natron-Orthoklas bei langsamer Abkühlung und geringerem Druck sich bildete und sein ursprüngliches Gefüge bewahrt hat.

Natronhaltig ist nun auch der Mikroklin. Vollkommen natronfrei ist allerdings der Kali-Orthoklas wohl niemals, aber in seiner reinsten Varietät, dem Adular, ist die Menge des Na_2O immer sehr gering, sie beträgt kaum 0,5%. Der Mikroklin, wie überhaupt der gemeine Feldspath der Granite u. s. w. ist immer reicher an Natron, das Verhältniss von Kali zu Natron in ihm ist aber kaum je mit Genauigkeit festzustellen, da mit dem Mikroklin immer Albit innig verwachsen vorkommt, der nur schwer vollständig von ihm zu trennen ist. Aber auch, wenn dies möglich wäre, würde noch die Frage offen sein, ob das Verhältniss von $K_2O : Na_2O$, welches die Analyse ergäbe, das ursprüngliche ist, ob nicht vielmehr das Natron, welches in dem mit dem Mikroklin verwachsenen Albit enthalten ist, ganz oder theilweise aus dem Mikroklin stammt, dieser daher ursprünglich natronreicher gewesen ist?

Dies ist sehr wahrscheinlich der Fall. Zuletzt hat sich hierüber A. Sauer[1]) bei Untersuchung eines natronreichen Orthoklases aus dem Granit von Socotra ausgesprochen. Die Körner sind z. Th. in der Mitte noch frisch, am Rande aber verwittert und hier von zahlreichen Albitschnüren durchzogen: »Meines Erachtens nach dürfte es nun nicht schwierig sein, eine befriedigende Vorstellung über die Ursachen und Vorgänge bei der geschilderten intensiven Albit-Neubildung in diesen Granitorthoklasen zu gewinnen, wenn man bedenkt, dass denselben ihrem optischen Verhalten nach (Auslöschung auf *M* 12° gegen 5° bei Na-armem Orthoklas) jedenfalls ein hoher Natrongehalt eigen sein muss. Bei der Verwitterung zerfiel die innige chemische Mischung von Kalisilicat und Natronsilicat. Das letztere, notorisch überaus beständig, schied

---

1) Z. g. G. Bd. XL. p. 146.

sich an Ort und Stelle als Albit aus, der sich dann möglicherweise durch Zufuhr von Natronlösungen von aussen auf Kosten des Kalisilicates noch weiter entwickelte und ausdehnte.« A. Sauer ist geneigt anzunehmen — und dieser Annahme schliessen wir uns an —, dass »auch in allen übrigen Fällen der erste Anstoss zur Albitisirung von einer isomorphen Beimischung von Natron-Thonerde-Silicat zu dem Kali-Thonerde-Silicat ausgeht, das in dem randlich in Zerfall gerathenen Orthoklas sich an Ort und Stelle als Albit ausschied«.

Eine gegentheilige Anschauung über die Bildung der Albitschnüre hat J. Lehmann (13) vertreten, welcher annimmt, die Albitsubstanz sei von aussen zugeführt. In dem Orthoklas seien in Folge von Contraction nach der Querfläche und dem verticalen Prisma angeordnete Querrisse entstanden und später von Albitsubstanz ausgefüllt.

Wir können diese Frage hier nicht entscheiden; es genügt, wenn wir wissen, dass der Mikroklin niemals reiner Kalifeldspath ist, sondern mehrere Procent Na_2O enthält, ursprünglich wahrscheinlich noch mehr hiervon enthalten hat.

Da aber Mikroklin natronhaltig ist und er wegen seines Vorkommens in alten Gesteinen dem lang andauernden Druck des Gebirges ausgesetzt war, und es bewiesen ist, dass natronhaltiger Orthoklas durch Druck in die asymmetrische Form mit der Structur des Mikroklin übergeführt werden kann, so schliessen wir, dass die Mikroklinstructur secundär und durch Druck entstanden ist und nehmen an, dass der Mikroklin durch Druck aus Orthoklas hervorgegangen ist.

Nachdem wir versucht haben, die Frage nach der Entstehung der Mikroklinstructur im Kalifeldspath zu beantworten, scheint es nothwendig, einige Worte über die Stellung des Mikroklin zum Orthoklas und allgemein über das Verhältniss der triklinen Feldspathe zu den monoklinen hinzuzufügen.

Alle Feldspathe stimmen bekanntlich in ihrer Formenausbildung, den Werthen entsprechender Winkel, den Richtungen der Blätterbrüche so annähernd überein, dass sie, so gut wie irgend andere Verbindungen, als isomorph müssten betrachtet werden, wenn sie alle den gleichen Symmetriegrad besässen. Da dies nicht der Fall ist, betrachtet man sie ziemlich allgemein als dimorph.

Als dimorphes Bindeglied gilt der Kalifeldspath, welcher als monoklin und triklin angeführt wird. Wir haben aber gesehen, dass dies nur für bestimmte Mischungen mit Natronfeldspath gilt, trikliner Kalifeldspath ist ebenso unbekannt wie monokliner Natronfeldspath, wir würden ihre Existenz nur in Mischungen annehmen können.

Um diese eigenthümliche Art von Dimorphie zu erklären, nehmen Mallard, Michel-Lévy und Groth an, der Kalifeldspath sei nur triklin und die monokline Form entstünde durch mikroskopische Zwillingsverwachsung trikliner Schichten, wie oben näher auseinander gesetzt. In den triklinen sollen viele Schichten unter einander parallel sein, in den monoklinen nicht. Nun haben

wir aber gesehen, dass monokliner »Natronorthoklas« durch Druck in die trikline Form übergeführt werden kann. Es würde dies im Sinne Jener so aufgefasst werden müssen, dass die Schichten aus der Zwillingsstellung in die Parallelstellung übergeführt worden sind.

Es müsste also gerade das Gegentheil von dem geschehen, was nach unseren Erfahrungen unter solchen Umständen in der Regel eintritt; denn bekanntlich bewirkt Druck bei vielen Mineralien eine Umlagerung der Theilchen in Zwillingsstellung und wir haben hieraus gelernt, viele natürlich vorkommende Zwillingsbildungen — es braucht nur an den derben, mit Zwillingslamellen reichlich durchsetzten Kalkspath erinnert zu werden — als secundär, durch den Gebirgsdruck entstanden aufzufassen.

Auch in Betreff der triklinen Feldspathe ist es kaum mehr einem Zweifel unterworfen, dass die vielfach wiederholten Zwillingsverwachsungen, welche für die eingewachsenen Plagioklase so überaus charakteristisch sind, z. Th. secundär und durch den Druck der Gesteinsmasse und andere Umstände in den fertig gebildeten Krystallen entstanden sind. Aus der ziemlich umfangreichen Literatur (die man z. Th. in einer Arbeit von B. Doss, T. M. M. XI. p. 31, zusammengestellt findet), in der die Möglichkeit der secundären Zwillingsbildung bei Plagioklas besprochen wird, sei es gestattet die Ansicht von L. van Werveke[1]) anzuführen:

»Aus der unregelmässigen relativen Lagerung der Lamellen können wir bei den angeführten Beispielen, wie mir scheint, mit grosser Wahrscheinlichkeit schliessen, dass die Lamellen nicht ursprüngliche, sondern secundäre Bildungen sind. In den beiden zuerst beschriebenen Fällen am Feldspath beweisen die Biegung der Lamellen und die Art der Störung in der Auslöschung, dass die ganzen Krystalle gebogen sind, mithin der Einwirkung mechanischer Kräfte ausgesetzt waren. . . . . . . Da nun die reichste und mannigfaltigste Entwicklung der Lamellen und die Stellen, welche die stärksten Störungen erlitten haben, zusammenfallen, so liegt die Annahme sehr nahe, dass der Druck, welcher den Feldspath gebogen, auch die Zwillingslamellen überhaupt erzeugt oder vorhandene verändert hat. Welche dieser Annahmen die richtigere ist, oder ob nicht beide eine gewisse Berechtigung haben, kann nur das Experiment entscheiden.«

Dies Experiment ist von Förstner angestellt worden und hat die Vermuthung bestätigt: Zwillingslamellen können in Feldspath durch Druck entstehen, die Zahl der vorhandenen Lamellen durch Druck vermehrt werden.

Diese und andere Beobachtungen zeigen uns jedenfalls, dass durch Druck Zwillingsbildung in Krystallen hervorgerufen werden kann. Dass umgekehrt Theilchen aus der Zwillingsstellung durch Druck in Parallelstellung gebracht werden können, ist gewiss möglich. Dies aber für den durch Druck aus der monoklinen (nach Mallard etc. innigst verzwillingten) Form in die trikline (nach Mallard etc. aus parallelen Molekülschichten bestehende Form) übergeführten Feldspath anzunehmen, scheint mir durch nichts gerechtfertigt.

[1]) N. Jb. 1883, II. p. 97; vergl. auch Judd, N. Jb. 1886, I. p. 67 der Referate.

Dies ist ein weiterer Grund, welcher uns jene Erklärung der Dimorphie als unwahrscheinlich erscheinen lässt.

Unwahrscheinlich scheint uns überhaupt die Dimorphie des Kalifeldspaths (und der Feldspathe allgemein) wegen der grossen Ähnlichkeit der morphologischen und physikalischen Eigenschaften des monoklinen und des triklinen Kalinatronfeldspaths, eine Ähnlichkeit, welche viel eher für Isomorphie spricht.

In neuerer Zeit hat J. W. Retgers[1]) über das specifische Gewicht isomorpher Mischungen Untersuchungen angestellt und an »künstlichen« Krystallen mehrerer Substanzen bestätigt gefunden, was man von den triklinen Kalknatronfeldspathen schon wusste, dass bei isomorphen Mischungen eine Proportionalität zwischen specifischem Gewicht und chemischer Zusammensetzung herrscht. Ebenso ist es durch die Arbeit von Schuster bekannt, dass die optischen Eigenschaften, z. B. die Lage der Elasticitätsaxen in den triklinen Kalknatronfeldspathen genau ihrer chemischen Zusammensetzung entsprechen. Hieraus ergiebt sich nun für Retgers eine neue Definition für Isomorphismus: »Zwei Substanzen sind nur dann wirklich isomorph, wenn die physikalischen Eigenschaften ihrer Mischkrystalle continuirliche Functionen ihrer chemischen Zusammensetzung bilden«, wobei er unter »physikalischen Eigenschaften« sowohl die geometrischen (Krystallwinkel, Axenverhältnisse) als auch die optischen Eigenschaften und das specifische Gewicht versteht. Es sollen also »bei zwei isomorphen Körpern die Mischkrystalle unmerklich physikalisch und morphologisch in einander übergehen« (l. c. p. 559).

Sehen wir uns hierauf die Kalinatronfeldspathe an, so finden wir diese Anforderungen an isomorphe Mischungen bei ihnen erfüllt. Wir haben die wichtigsten Daten nach den Angaben von Förstner (10) in der folgenden Tabelle zusammengestellt und die Feldspathe nach dem Natrongehalt geordnet.

Nr.	Sp. G.	$K_2O : Na_2O$	Axenverhältniss	α	β	Fundort
			$a : b : c$			
			Monoklin			
1	2,57	1 : 0,13	0,6535 : 1 : 0,5521	90°	116° 3'	Adular. Pfitsch
2	2,56	1 : 0,18	0,6538 : 1 : 0,5526	90°	115°53'	Sanidin. Somma
3	2,57	1 : 1,5	0,6492 : 1 : 0,5517	90°	116° 6'	Sanidin. Laach
4	2,582	1 : 2,12	0,6356 : 1 : 0,5485	90°	116°17'	Cala Porticello Pantel-
5	2,586	1 : 2,14	0,6399 : 1 : 0,5460	90°	116°21'	Bagno dell'acq. leria
			Triklin			
6	2,573	1 : 2,15	0,6388 : 1 : 0,5574	91°22'	116° 4'	R. Khagiar
7	2,576	1 : 2,25	0,6416 : 1 : 0,5514	91° 9'	116°38'	R. S. Marco
8	2,564	1 : 2,29	0,6424 : 1 : 0,5502	90°33'	116°10'	Cuddia Mida
9	2,577	1 : 2,40	0,6483 : 1 : 0,5551	91°27'	116°44'	R. Sidori Pantel-
10	2,592	1 : 2,43	0,6449 : 1 : 0,5609	91°42'	116°32'	R. Khania leria
11	2,565	1 : 2,75	0,6443 : 1 : 0,5574	91°20'	116°56'	R. Rakhalè
12	2,584	1 : 2,84	0,6329 : 1 : 0,5612	92° 3'	115°32'	R. Zichidi
13	2,605	1 : 4,29	0,6350 : 1 : 0,5536	92°15'	115°28'	Mte. Gibele
		Albit n. Des Cloiz.	0,6333 : 1 : 0,5576		116°28'	
	2,618	Albit n. Bärwald	0,5986 : 1 : 0,5480	91° 7'	116°58'	Kasbék

1) Zeitschr. f. physikal. Chemie III, 6. p. 497—561.

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass die Axenverhältnisse der monoklinen und triklinen Feldspathe nicht mehr von einander abweichen als die anderer isomorpher Gruppen. Die Axenverhältnisse der zur Schwerspathgruppe gehörigen Mineralien z. B. weisen grössere Verschiedenheiten auf als die obigen der Feldspathe.

Der Winkel α, welchen die beiden Hauptblätterbrüche bilden und welcher bei den monoklinen Feldspathen 90° beträgt, ist bei dem natronarmen und kalkärmsten (0,38% CaO) Feldspath von Cuddia Mida 90° 33′, und steigt bei den andern weniger durch den Natron- als durch den Kalkgehalt. Bei Nr. 12 und 13 ist α am grössten (92° 3′ und 92° 15′), diese enthalten aber auch 2,01% bez. 2,76% CaO, während bei Nr. 7 und 11 der Winkel α klein (91° 9′ und 91° 20′) ist und der CaO-Gehalt nur 0,80% beträgt.

Das specifische Gewicht steigt mit zunehmendem Natrongehalt allmählich an, die geringen Schwankungen beruhen offenbar auf Beimengungen, namentlich von Kalkfeldspath, der wegen seines höheren Gewichtes (sp. G. = 2,7—2,8) dasselbe in den Mischungen in die Höhe drückt. So enthalten Nr. 4 und 5 2,78% bez. 1,11% CaO und ihr specifisches Gewicht = 2,582 und 2,586 ist höher wie das der folgenden triklinen natronreicheren, aber kalkärmeren Feldspathe. Die Nr. 8 und 11 dagegen, deren specifisches Gewicht = 2,564 und 2,565 ist, enthalten nur 0,38% und 0,80% CaO. Solche Schwankungen kommen sowohl bei den monoklinen als auch bei den triklinen Mischungen vor, aber eine Discontinuität zwischen dem specifischen Gewicht der monoklinen und triklinen Kalinatronfeldspathe ist nicht zu entdecken.

So gehen die physikalischen und morphologischen Eigenschaften dieser Feldspathe allmählich in einander über, und wir erblicken hierin ein Zeichen des Isomorphismus der monoklinen und triklinen Feldspathe.

Wenn wir somit durch diese Betrachtungen zu der Überzeugung kommen, dass die monoklinen und triklinen Feldspathe isomorph sind, so geben wir damit die Möglichkeit zu, dass Substanzen isomorph sein können, obwohl sie verschiedenen Systemen angehören; und ich meine, dass diese Annahme ebenso berechtigt ist, wie die, dass Substanzen, welche zwar demselben Krystallsystem angehören, aber verschiedenen Symmetriegrad besitzen, isomorph sind. Steinsalz ist vollflächig regulär, Sylvin und Salmiak gyroëdrisch; Kalkspath ist rhomboëdrisch, Dolomit aber rhomboëdrisch-tetartoëdrisch, und doch zweifelt Niemand an der Isomorphie von Steinsalz, Sylvin und Salmiak, von Kalkspath und Dolomit[1]).

Die Verbindungen As_2O_3 und Sb_2O_3 galten bisher als ein ausgezeichnetes Beispiel einer isodimorphen Gruppe, da beide als regulär und beide als rhombisch bekannt waren. Nun hat kürzlich A. Des Cloizeaux[2]) durch optische

[1]) Die Abhandlung von J. W. Retgers, Über den Isomorphismus in der Dolomitreihe. N. J. 1891, I. p. 132, ist erst während des Druckes erschienen. Retgers zweifelt an der Isomorphie von Kalkspath und Dolomit, ob mit Recht, bleibt dahingestellt.

[2]) Bull. min. X. 303. 1887.

Prüfung gefunden, dass die vermeintliche rhombische Modification von As_2O_3, der Claudetit, monoklin ist, während die Antimonblüthe Sb_2O_3 nur als rhombisch bestimmt werden kann. Beide stimmen in ihren Dimensionen nahe überein, denn es ist bei

Antimonblüthe $a:b:c = 0{,}3914:1:0{,}3367$,
Claudetit . . $a:b:c = 0{,}4040:1:0{,}3445$,
$\beta = 93^\circ 57'$,

auch haben beide eine ausgezeichnete Spaltbarkeit nach einer Richtung. Soll man nun beide als dimorph betrachten, weil sie verschiedenen Systemen angehören? Oder soll man glauben, die Antimonblüthe sei auch monoklin, ihre wahre Natur nur verhüllt durch submikroskopische Zwillingsverwachsung? P. Groth[1]) neigt zu dieser Annahme, aber ich glaube doch, es ist viel natürlicher, Isomorphie anzunehmen, als solche unsichtbare und unauffindbare Zwillingsverwachsungen.

Wenn wir die Annahme submikroskopischer Zwillingsverwachsung für diese Art von vermeintlicher Dimorphie im allgemeinen verwerfen, und die Annahme von Isomorphie in verschiedenen Systemen vorziehen, werden wir u. a. auch die durch Topsöe's Untersuchungen[2]) bekannt gewordenen Krystalle des schwefelsauren und selensauren Beryllium als isomorph betrachten, obwohl sie verschiedenen Systemen angehören. Das schwefelsaure Beryllium krystallisirt quadratisch, das selensaure rhombisch, beide stehen sich aber in den Winkelwerthen und dem Habitus der Combinationen ausserordentlich nahe und können in Mischkrystallen erhalten werden, von denen die, welche auf 1 Molekül Selensäure 7 oder mehr Moleküle Schwefelsäure enthalten, quadratisch, optisch einaxig sind, die aber, welche auf 1 Molekül Selensäure weniger als 4 Moleküle Schwefelsäure enthalten, rhombisch sind. Wir betrachten die Krystalle als isomorph und die Mischungen als isomorphe Mischungen. Die Verschiedenheit des Systems wird hervorgerufen durch die Wirkungen der für die Schwefelsäure eintretenden Selensäure.

Ganz analog sind für uns die Verhältnisse bei den Feldspathen, speciell dem Kali- und Natronfeldspath. Beide sind isomorph, der erstere monoklin, der andere triklin, die Systemverschiedenheit beruht auf der Wirkung des Natron. Diese giebt sich auch in den Mischkrystallen zu erkennen; die Krystalle mit vorherrschendem Kaligehalt sind im allgemeinen monoklin, die mit vorherrschendem Natrongehalt triklin. An der Grenze stehen Glieder, welche bald monoklin, bald triklin sein können. Ein Feldspath, in dem das Verhältniss von $K_2O : Na_2O = 1 : 2{,}15$ (bezw. 2,14) ist, kommt sowohl monoklin als triklin auf Pantelleria vor; die monoklinen von dieser Zusammensetzung werden durch Druck und Erhitzen mit darauffolgender Abkühlung triklin — es bilden sich Zwillingslamellen nach der Längs-

[1]) Tabellarische Übersicht. 3. Aufl. p. 36.
[2]) S. W. A. Bd. 66. p. 50. 1872.

fläche und auf $0P(001)$ wird die Auslöschungsrichtung schief —, die triklinen werden bei hoher Temperatur monoklin.

Dies Verhalten hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem dimorpher enantiotroper Substanzen, es ist aber nicht der einen oder andern Grundverbindung eigenthümlich, sondern nur bestimmten Mischungen; schon der trikline Feldspath vom Mte. Gibele, in dem $K_2O : Na_2O = 1 : 4,29$ ist, wird durch Erhitzen nicht mehr monoklin, ebenso wenig wie die natronarmen Kalifeldspathe durch Druck oder durch Erhitzen und schnelles Abkühlen triklin werden.

Daher erblicken wir in diesem Verhalten kein Zeichen von Dimorphie, sondern führen es auf die Wirkung des Natron zurück. Diese hat in den betreffenden Mischungen gerade eine solche Stärke, dass die Krystalle bei ungestörter Bildung, langsamer Abkühlung und geringem oder wenigstens allseitig gleichmässigem Druck noch monoklin werden, aber durch mechanische Kräfte, Druck und schnellere Kühlung in die trikline Form übergeführt werden können.

Als einen solchen Kalinatronfeldspath betrachten wir auch den Mikroklin: er ist ursprünglich monoklin, aber wegen des Natrongehaltes mit labiler Gleichgewichtslage ausgestattet gewesen. Durch den lang andauernden Druck des Gebirges ist er in die trikline Form übergeführt, seine Structur ist secundär.

Die hier dargelegten Anschauungen über die Isomorphie der Feldspathe und die Wirkungen ihres alkalischen Bestandtheiles decken sich fast vollkommen mit denen, welche W. C. Brögger früher (8) in so klarer Weise entwickelt hat und die wir der Vollständigkeit halber hier anschliessen; wir heben nur hervor, dass wir an der monoklinen Natur des Kalifeldspathes zu zweifeln keinen Anlass haben:

»Meine (Brögger's) Auffassung der Mineralien der Feldspathgruppe ist also die folgende: Die zusammengesetzten Silicate $K_2Al_2Si_6O_{16}$, $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ und $Ca_2(Al_2)_2Si_4O_{16}$ (wie die entsprechende Verbindung $Ba_2(Al_2)_2Si_4O_{16}$) bilden die isomorphen Glieder einer Reihe; von diesen krystallisirt die erste Verbindung im monosymmetrischen System (?) oder mit äusserst nahe denselben Winkeln im asymmetrischen System, die beiden letzteren jede mit ihren charakteristischen Winkeln im asymmetrischen System. Dass auf den möglichen Unterschied der Krystallsysteme zwischen dem ersten und den beiden letzten Gliedern kein Gewicht gelegt werden kann, scheint mir in der Annahme der Sohncke'schen Definition der Isomorphie: »Isomorph sind zwei Substanzen, welche in krystallisirtem Zustande congruente oder nahezu congruente Structurformen besitzen«, einbegriffen; denn wenn die Structurformen der Molekularnetze, wie wohl wahrscheinlich, das wesentliche ist, so ist es selbstverständlich, dass diese sehr nahe dieselben sein können, ob sich das Krystallsystem mit ganz kleiner Winkeldifferenz (welche häufig bei allgemein als isomorph angenommenen, in demselben Systeme krystallisirenden Substanzen grösser ist) von dem monosymmetrischen in das asymmetrische System ändert, was einer morphotropen Einwirkung der verschiedenen einander ersetzenden Atomgruppen bei Erhaltung der Structurform zuzuschreiben wäre. Diese isomorphen Glieder sollten nun theoretisch alle möglichen molekulären Mischungen mit einander

eingehen, von welchen jedoch nicht alle bekannt sind ..... Wenn die Kaliverbindung in den Mischungen vorherrscht, oder in beträchtlicher Menge vorhanden ist, scheint dieselbe die äussere Form als eine monosymmetrische (Kaliorthoklas, Natronorthoklas, Hyalophan), oder nach den Winkeldimensionen sehr nahe monosymmetrische (Kalimikroklin, Natronmikroklin) zu bestimmen. Wenn die Natronverbindung oder die Kalkverbindung in den Mischungen vorherrscht, und die Kaliverbindung nur in ganz geringer Menge auftritt, so resultirt eine asymmetrische Form, deren Winkel sich denen des Albits oder des Anorthits nähern ...... Ebenso wie die äussere Form (die Winkeldimensionen) wesentlich von den respectiven Mischungen abhängig wäre, dürfte auch in optischer Beziehung eine bestimmte Abhängigkeit zu erwarten sein, welche zwischen Orthoklas und Anorthit als äusserste Glieder eine continuirliche Reihe voraussetzen würde, was sich nach Schuster's Untersuchungen der Kalknatronfeldspathe zu bestätigen scheint; dasselbe gilt von dem specifischen Gewicht (Goldschmidt).

»Ich meine also die jetzt so allgemein für die Auffassung der Feldspathgruppe (wie der Augitgruppe, der Hornblendegruppe, der Uranitgruppe etc.) angenommene Isodimorphie (resp. Isotrimorphie), bei welcher die resp. isodimorphen Glieder sehr nahe dieselben Winkeldimensionen besitzen sollten, als überflüssig und unwahrscheinlich nicht annehmen zu können. Überflüssig scheint mir diese Hypothese in den erwähnten Fällen deshalb, weil es ja recht auffällig wäre, dass so nahe verwandte, analog constituirte Verbindungen wie z. B. $K_2Al_2Si_6O_{16}$ und $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ bei der auffälligen Ähnlichkeit ihrer Winkeldimensionen und übrigen krystallographischen Verhältnisse (ausgenommen also das Krystallsystem) wesentlich verschiedene Structurformen besitzen sollten, theils auch deshalb, weil es sich in allen analog aufgefassten, durch die »Isodimorphie mit ähnlichen Winkeldimensionen« erklärten Gruppen zeigt, dass von den respectiven dimorphen Modificationen immer nur die eine für jede Substanz, wenn sie allein für sich auftritt, bekannt ist, was nicht mit wirklich unzweifelhaften isodimorphen Gruppen allgemein der Fall ist. Natronorthoklas ohne reichliche Einmischung des Kalisilicats ist nicht gefunden, und kann, meiner Ansicht nach, ebenso wenig gefunden werden, wie ein reiner Barytorthoklas oder Kalkorthoklas etc. Was das Kalisilicat $K_2Al_2Si_6O_{16}$ betrifft, so scheint demselben vielleicht eine monosymmetrische Form zuzukommen; wenn dies aber der Fall wäre, was doch nicht absolut sicher ist (cf. Michel-Lévy's Hypothese), dann müsste nach meiner Ansicht auch bei dem Kalimikroklin die kleine Abweichung von den Winkelverhältnissen des monosymmetrischen Systems z. B. durch eine, wenn auch bisweilen sehr kleine Einmischung des entsprechenden Natronsilicats zu erklären sein.«

Später hat Brögger seine Anschauungen noch genauer in einem Brief an Herrn Prof. H. Rosenbusch (8) entwickelt, woraus ich einige wichtige Stellen hier anführe:

»Wenn in einer Verbindung ein Atom oder eine Atomgruppe durch eine andere ersetzt wird, treten — ohne andere Ausnahmen als im regulären

System — immer Änderungen in der äusseren Begrenzung eines Krystalls auf, d. h. die neu eintretende Gruppe hat eine formändernde, morphotropische, Wirkung ausgeübt. Wenn die morphotropischen Änderungen ganz klein sind, können wir die beiden Substanzen beim Vergleich homöomorph nennen ......

»Homöomorph ist — weil immer eine morphotropische Änderung stattfindet — nach meiner Auffassung nicht von Gleichheit des Krystallsystems abhängig. Wesentlich sind nämlich die Structurformen, welche die äussere Form bedingen; diese können aber z. Th. in verschiedenen Krystallsystemen dieselben sein, wie schon von L. Sohncke nachgewiesen ist ...... Ganz in ähnlicher Weise meine ich nun, dass in der That die morphotropischen Änderungen ganz gut, was die absoluten Dimensionen anbetrifft, klein sein können und doch das Krystallsystem ändern (Beispiele: schwefelsaures resp. selensaures Beryllium etc. etc.), bald grösser sein können, ohne das Krystallsystem zu ändern (Beispiele: Goethit und Manganit etc.) ......

»Ganz dasselbe findet nun aber nach meiner Ansicht auch dann immer statt, wenn die Ersetzung nur theilweise vor sich geht. Auch dann werden immer morphotropische Wirkungen die absoluten Dimensionen der bestimmten Elemente der Structurformen, d. h. die äussere Form ändern, obwohl die Änderung dabei quantitativ verschieden nach der eingeführten Menge des substituirenden Atoms oder Atomgruppe sein muss ...... Wenn aber die Substitution nur partiell ist, erhält man »morphotropische Mischungen« ......

»Es sind durch diese Auffassung alle solche Fälle zu erklären, in welchen früher von Groth und andern Verfassern eine Isopleomorphie (Isodimorphie, Isotrimorphie etc.) zur Erklärung angezogen wurde, trotz bedeutender Übereinstimmung der Winkelverhältnisse (welche von sehr nahe verwandten Structurformen zeugen) und trotzdem, dass die reinen Mischungsglieder für sich nicht als pleomorph bekannt sind (Beispiele: Feldspathgruppe, Augitgruppe, Hornblendegruppe etc.).«

In seiner erst kürzlich, nach Niederschrift der vorstehenden Ausführungen, erschienenen Arbeit über die Mineralien der Syenitpegmatitgänge (17) schliesst sich Brögger mehr den Anschauungen von Mallard, Groth etc. an:

»Da nun aber das Kalisilicat $K_2 Al_2 Si_6 O_{16}$ als Mikroklin mit Sicherheit als asymmetrisch betrachtet werden muss, scheint die zuerst von Michel-Lévy gegebene, später von Mallard, Rosenbusch, Groth, mir und Anderen anerkannte Erklärung des Orthoklases als ein kryptolamellarer Mikroklin mir allein möglich, eine Erklärung, deren Möglichkeit nicht bestritten werden kann und welche um so mehr berechtigt erscheint, als eben die Beobachtungen am Mikroklin selbst in manchen Beziehungen sehr dazu geeignet sind, diese Auffassung zu stützen, indem theils das Studium guter Präparate gleichsam den Übergang zwischen einem mikrolamellaren, deutlich asymmetrischen Mikroklin und einem kryptolamellaren, pseudomonosymmetrischen Orthoklas erkennen lässt, theils namentlich auch das specifische Gewicht und die Cohäsionsverhältnisse beim Mikroklin und Orthoklas dieselben sind, was bei dimorphen

Substanzen kaum denkbar wäre. Wenn aber diese Erklärung den Kaliorthoklas als mit dem asymmetrischen Mikroklin identisch und nicht dimorph betrachtet, so muss eine analoge Auffassung auch für den Natronorthoklas gelten. Auch dieser muss dann ein kryptolamellarer asymmetrischer Feldspath sein. Da der sogenannte Natronorthoklas aber immer sehr beträchtliche Mengen des Kalifeldspathsilicates enthält, so liegen hier zwei Möglichkeiten vor:

1) entweder kann der pseudomonosymmetrische Charakter, wie beim Mikroklin, durch eine kryptolamellare Verwachsung von, nach dem Albitgesetze verzwillingten Lamellen eines homogenen asymmetrischen Kalinatronfeldspathes, eines Natronmikroklins (Anorthoklases) also, verursacht sein, oder

2) derselbe ist durch eine kryptoperthitische Verwachsung von zwei verschiedenen Feldspathen, Kalifeldspath und Albit, zu erklären.«

Der letztere Fall, eine Ausbildung von Kryptoperthiten, meint Brögger, wäre durch die sogenannten Natronorthoklase von Frederiksvärn repräsentirt, während der erstere Fall, eine Ausbildung von kryptolamellaren Anorthoklasen, vielleicht durch die von Förstner beschriebenen Natronorthoklase von Pantelleria repräsentirt wäre.

Wir geben zu, dass die von Brögger angenommenen Verwachsungen wohl vorkommen können, halten es aber nicht für richtig, diese Annahme auf alle monoklinen Feldspathe auszudehnen, und dieselben als aus triklinen Lamellen aufgebaut zu betrachten; wir bleiben vielmehr bei unserer oben entwickelten Ansicht, die wir mit wenigen Worten zusammenfassen:

Der reine Kalifeldspath ist monoklin, der reine Natronfeldspath ist triklin, beide sind isomorph (d. h. sie haben nahezu congruente Structurformen [Punktsysteme]).

Die Verschiedenheiten in der Symmetrie (bezw. in den Structurformen) beruhen auf der Wirkung des alkalischen Bestandtheils.

In den isomorphen Mischungen können die geringen Verschiedenheiten der Structurformen verschwinden: das Raumgitter des Natronfeldspathes wird gleich dem des Kalifeldspathes im Orthoklas, das des Kalifeldspathes gleich dem des Natronfeldspathes im Mikroklin (Anorthoklas).

Durch die isomorphe Beimischung wird die Stabilität (der Raumgitter) verringert, das Natron im Kalifeldspath nähert diesen dem Natronfeldspath, das Kali im Natronfeldspath nähert diesen dem Kalifeldspath, gewisse Mischungen befinden sich in einem labilen Gleichgewichtszustand: durch Änderung von Druck oder Temperatur können monokline Mischungen triklin, trikline monoklin werden.

Der Mikroklin war ursprünglich ein natronhaltiger monokliner Kalifeldspath und ist erst durch den lang andauernden Druck des Gebirges triklin geworden.

III. Optische Anomalien durch mechanischen Druck oder Zug, schnelle Kühlung, einseitige Erwärmung, elektrische Kräfte etc.

Einleitende Bemerkungen.

Literatur.

1. D. Brewster. Phil. Trans. 1816, I. p. 77.
2. —— Phil. Trans. 1816, I. p. 167.
3. —— Ed. Trans. 1816. VIII, 2. p. 281.
4. Moigno et Soleil in Moigno, Repertoire d'optique moderne. Paris-Leipzig 1847—1850. IV. p. 1594.
5. F. Pfaff. Versuche über den Einfluss des Drucks auf die optischen Eigenschaften doppeltbrechender Krystalle. P. A. Bd. 107. p. 333; Bd. 108. p. 598. 1859.
6. E. Mach und J. Merten. Bemerkungen über die Änderung der Lichtgeschwindigkeit im Quarz durch Druck. S. W. A. II. Abth. 20. VIII. 1875. p. 12.
7. H. Bücking. Über durch Druck hervorgerufene optische Anomalien. Z. g. G. 32. p. 199. 1880.
8. F. Klocke. Über einige optische Eigenschaften optisch anomaler Krystalle und deren Nachahmung durch gespannte und gepresste Colloide. N. Jb. 1881, II. p. 257.
9. H. Bücking. Über den Einfluss eines messbaren Druckes auf doppeltbrechende Mineralien. Z. Kr. VII. p. 555—574. 1883.
10. W. C. Röntgen. Über die durch elektrische Kräfte erzeugte Änderung der Doppelbrechung des Quarzes. XXII. Ber. der Oberh. Ges. f. Natur- u. Heilkde. Giessen 1883. p. 49—64. 98—116.
11. W. Klein. Beiträge zur Kenntniss der optischen Änderungen in Krystallen unter dem Einfluss der Erwärmung. Z. Kr. IX. p. 38—72. 1884.
12. Fr. Pockels. Über den Einfluss elastischer Deformationen, speciell einseitigen Druckes, auf das optische Verhalten krystallinischer Körper. W. A. 37. p. 372. 1889 und W. A. 39. p. 440—469. 1890.

Brewster hat zuerst die Beobachtung gemacht, dass die optischen Eigenschaften von Krystallen gestört werden, wenn ein mechanischer Druck auf dieselben ausgeübt wird. Steinsalz, Flussspath und Diamant werden doppelbrechend (2), optisch einaxige Krystalle, wie Kalkspath und Quarz, werden zweiaxig (3). Durch Erhitzen können dieselben Veränderungen hervorgerufen werden (1. 3).

Diese Versuche sind später von Moigno und Soleil, Pfaff, Klocke, Bücking und andern wieder aufgenommen und weiter geführt worden und haben zu einigen bemerkenswerthen Ergebnissen geführt.

Moigno und Soleil fanden (4), dass die durch Druck zweiaxig gewordenen optisch einaxigen Krystalle nach der Lage der optischen Axenebene in zwei Gruppen zerfallen, indem bei den optisch positiven die Axenebene in die Richtung des Drucks, bei den negativen senkrecht dazu sich einstellt. Letzteres scheint Brewster schon bei Kalkspath (3) beobachtet zu haben: »the rings instantly began to lose their circular shape and to bend into curves of contrary flexure at the points of pressure«, auch hat er gefunden, dass überhaupt positive und negative Krystalle gegen Druck sich verschieden verhalten, dass

die Doppelbrechung in beiden Arten in entgegengesetztem Sinne sich ändert, aber die Gesetzmässigkeit in der Einstellung der optischen Axenebene wurde erst von Moigno und Soleil erkannt.

Die einfache Erklärung für dies verschiedene Verhalten haben Mach und Merten (6) und nach ihnen F. Klocke (8) gegeben: »In einem negativen Krystall liegt die Richtung der grösseren optischen Elasticität parallel zur Hauptaxe c. Durch einen $\perp c$ ausgeübten Druck wird in der Druckrichtung die optische Elasticität vergrössert, senkrecht darauf in Folge der Dilatation der Platte in dieser letzteren Richtung verkleinert. Die ursprünglich in der Plattenebene nach allen Richtungen gleiche Elasticität erhält dadurch ein Maximum (𝔟) in der Druckrichtung und senkrecht dazu ein Minimum (𝔠). Da aber von vornherein die Elasticität parallel c grösser ist als senkrecht zu c, so bleibt c die Richtung der grössten Elasticität (𝔞)[1], und die optische Axenebene fällt in die durch 𝔞 und 𝔠 bestimmte Ebene, d. h. sie stellt sich senkrecht zur Druckrichtung.

»In einem positiven Krystall, in welchem parallel c die Richtung der kleineren Elasticität liegt, wird in der Druckrichtung die in diesem Sinne schon ursprünglich grössere Elasticität noch mehr vergrössert, senkrecht darauf in der Plattenebene etwas verkleinert. Die letztgenannte Richtung (𝔟) wird dadurch die Richtung kleinster Elasticität in der Plattenebene und mittlerer Elasticität in Bezug auf den Krystall. Die optische Axenebene wird daher durch 𝔞 und 𝔠 bestimmt, d. h. sie stellt sich in die Druckrichtung.«

Im allgemeinen wird in gepressten Körpern die optische Elasticität in der Druckrichtung grösser als senkrecht dazu; es kommen aber auch Fälle vor, wo die Verhältnisse gerade umgekehrt[2]) liegen. Einen solchen Fall werden wir im Sylvin kennen lernen. Wenn nämlich Sylvin senkrecht zu zwei

---

[1]) »Vorausgesetzt, dass der angewandte Druck sich innerhalb solcher Grenzen hält, dass nicht das ursprüngliche Verhältniss der Elasticitätsaxen geradezu umgekehrt und die Druckrichtung 𝔟 die Richtung der grössten Elasticität wird. In diesem Falle würde die Ebene der optischen Axen nicht mehr $\parallel c$, sondern $\perp c$ sich einstellen.«

[2]) Auch amorphe Körper verhalten sich gegen Druck verschieden; in der Regel fällt die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung, in gepresstem Kirschgummi dagegen fällt die kleinste optische Elasticitätsaxe in diese Richtung (Ebner, S. W. A. 1888. Bd. 97. Abth. II, a. p. 39—50), ebenso im Traganth. Dies spricht für das Vorhandensein sehr kleiner anisotroper Theilchen, welche durch den Druck alle gleichsinnig orientirt werden (Ambronn. P. A. (W. A.) Bd. 38. p. 159. 1889). Man könnte demnach erwarten, dass man bei geeigneter Mischung zweier sich optisch entgegengesetzt verhaltender Gummiarten z. B. des arabischen Gummis und desjenigen der Kirschbäume eine Masse erhalten würde, die bei Zug und Druck neutral bleibt. Ambronn (l. c.) hat jene Erwartung bestätigt gefunden. Aus zähflüssigem Gummi lassen sich leicht Fäden ziehen, diese Fäden sind stark doppelbrechend und zwar bei Kirschgummi in Bezug auf die Längsrichtung negativ, bei arabischem Gummi positiv. Mischt man nun in dünnflüssigem Zustand die beiden Colloide und lässt dann wieder bis zu dem Grade der Consistenz eintrocknen, bei welchem sich bequem Fäden aus der Masse ziehen lassen, so kann man je nach dem Mischungsverhältnisse alle Abstufungen im Grade und Sinne der Doppelbrechung und auch ganz neutrale Fäden herstellen.

gegenüberliegenden, angeschliffenen Granatoëderflächen gepresst wird, so fällt die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung, wird er aber senkrecht zu zwei Würfelflächen gepresst, so fällt die kleinste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung. Umgekehrt wird Flussspath durch Druck parallel einer Würfelnormalen negativ einaxig, durch Druck parallel einer Octaëdernormalen positiv einaxig (12).

Wenn es optisch einaxige Krystalle geben sollte, welche gegen Druck sich ähnlich verhalten wie Sylvin und Flussspath, so würde eine Abweichung von dem obigen Gesetz eintreten, in negativen Krystallen würde sich die Axenebene parallel, in positiven senkrecht zur Druckrichtung stellen. Bis jetzt sind unter den einaxigen Krystallen solche Ausnahmen nicht bekannt.

Einen Apparat, mit dem man die Stärke des ausgeübten Druckes annähernd messen kann, hat H. Bücking (7. 9) construirt, und mit Hülfe desselben Apatit, Beryll, Turmalin und Sanidin geprüft und gefunden, dass die einaxigen Platten schon durch einen gelinden Druck zweiaxig werden, dass aber ein verhältnissmässig starker Druck nöthig ist, um den Axenwinkel weiter zu vergrössern; die Änderung des optischen Axenwinkels ist demnach nicht dem ausgeübten Druck proportional. Nach Aufhebung des Drucks verschwindet die Zweiaxigkeit wieder, nur in Apatit bleibt schwache Zweiaxigkeit bestehen.

Wie durch Druck und Zug können optische Anomalien durch einseitige Erwärmung (11) und elektrische Kräfte (10) hervorgerufen werden; auch hierdurch entstehen Compressionen und Dilatationen, welche Anomalien im Gefolge haben. Bodewig (9. p. 569) hat gefunden, dass Beryllplatten durch Torsion stark zweiaxig werden und glaubt, dass die anomalen Erscheinungen, welche viele der natürlich vorkommenden, insbesondere eingewachsene Krystalle zeigen, zum Theil durch eine Torsion, welche die Krystalle erlitten haben, hervorgerufen sind.

Alle diese Untersuchungen sind insofern für uns von grossem Interesse, als sie zeigen, dass und wie die optischen Eigenschaften von Krystallen durch Druck und Zug oder ähnliche Kräfte geändert werden können. Durch den Nachweis, dass einfachbrechende Krystalle durch Druck doppelbrechend, einaxige zweiaxig werden, sind wir jedoch noch nicht zu der Annahme berechtigt, dass die von Natur anomalen Krystalle dieser Substanzen durch Druck anomal seien, da, mit wenigen Ausnahmen, die durch den Druck hervorgerufenen Erscheinungen wieder verschwinden, wenn der Druck aufhört. Worauf wir zu sehen haben, wenn wir die Anomalien auf Druckwirkungen zurückführen wollen, ist, dass die durch den Druck erzeugten Veränderungen nach Aufhören des Drucks bestehen bleiben, denn nur dann werden wir mit einiger Gewissheit in einer Substanz durch Druck hervorgerufene Anomalien erwarten können.

Dagegen sind wir bei Erklärung der Anomalien von solchen Substanzen, welche nach Aufhören des Drucks ihr früheres normales optisches Verhalten wieder annehmen, mehr auf Vermuthungen und Analogieschlüsse angewiesen.

Indessen ist es nicht ausgeschlossen, dass auch in ihnen durch Druck entstandene Anomalien vorkommen können, da lang andauernder oder während des Wachsthums zur Geltung kommender Druck von anderer Wirkung sein kann, als ein nur kurze Zeit auf einen fertig gebildeten Krystall ausgeübter Druck.

Einen solchen Fall werden wir in Bleinitrat kennen lernen; dessen Krystalle werden durch Druck doppelbrechend, nach Aufhören des Drucks aber wieder einfachbrechend. Wirkt aber der Druck auf den wachsenden Krystall, so wird er dauernd doppelbrechend. In unserem Beispiel waren mehrere Krystalle zu einer Gruppe zusammengewachsen; die nach aussen liegenden waren einfachbrechend, von den nach innen liegenden viele unregelmässig doppelbrechend. Die Doppelbrechung ging immer von solchen Stellen aus, wo der Krystall mit andern verwachsen war. Offenbar haben diese während des Wachsthums durch ihre Vergrösserung einen Druck auf den Krystall ausgeübt und hierdurch die Doppelbrechung in ihm hervorgerufen.

Alaun wird ebenso wie Bleinitrat durch Druck doppelbrechend, nach Aufhören des Drucks wieder einfachbrechend. Krystallisirt er aber unter Druck, so wird er doppelbrechend. E. Jannettaz[1]) löste reinen Kalialaun in einem Siphon und liess ihn unter 12 Atmosphären Druck in demselben auskrystallisiren. Alle auf diese Weise entstandenen Alaunkrystalle waren doppelbrechend, ihre Winkel die des regulären Octaëders. Die Krystalle waren während des Wachsthums comprimirt und hierdurch doppelbrechend geworden.

In diesen Fällen würden die Druckkräfte, welche Anomalien erzeugen, gleichsam nur von aussen wirken, die Substanz verhält sich passiv. Es scheint aber, als ob bisweilen die Druckkräfte auch von der Substanz selbst ausgehen können, nämlich dann, wenn die Substanz zur Trichitenbildung neigt. O. Lehmann hat sich in seiner Molekularphysik hierüber an einigen Stellen geäussert.

Die Krümmung und Gliederung der Trichiten erklärte O. Lehmann früher durch die Annahme, dass die zuerst äusserst fein geradlinig ausgebildeten Kryställchen durch innere Strömungen in der Flüssigkeit gebogen werden, da sie ja in Folge ihrer geringen Dicke äusserst leicht biegsam sind, oder durch Auftreten von Kräften an den schiefen Endflächen durch den Vorgang der Krystallisation selbst eine Druckcomponente erzeugt werde, welche die Krystalle biegen oder in einzelne Theile zu zerbrechen strebe. Später ist O. Lehmann von dieser Annahme wieder vollständig zurückgekommen und sieht die eigentliche Ursache der Trichitenbildung in einer Oberflächenspannung des wachsenden Krystalls (p. 364 des I. Bds.):

»Vor Allem veranlasste mich hierzu das Auftreten von Spannungserscheinungen oder Wachsthumsanomalien bei Trichiten, selbst bei völlig gerader

[1]) Bull. min. II. p. 193. 1879.

Ausbildung derselben. Eine Substanz, welche besonders geeignet ist zur Untersuchung völlig gerader Trichiten, ist das inactive doppeltäpfelsaure Ammoniak.

»Aus der heissen erkaltenden Lösung in Wasser sieht man mit Hülfe des Mikroskops sowohl sehr grosse, wie auch ungemein fein trichitenartig ausgebildete Krystalle sich ausscheiden, von welchen die letzteren gewöhnlich mit der Zeit sich ebenfalls zu ähnlichen Dimensionen verdicken wie die ersteren. . . . . . .

»Hierzu kommt noch eine zweite Beobachtung, die schon vor längerer Zeit von Nicklès (1848. C. R. Bd. 27, p. 270) gemacht wurde, dass nämlich das zweifach äpfelsaure Ammoniak seine Krystallwinkel ändert, wenn es aus Lösungen krystallisirt, die verschieden rein sind. Diese Änderungen sind so gross, dass die Kantenwinkel des rhombischen Prismas von 70° 55′ bis zu 73° schwanken können.

»Ähnliche Winkelschwankungen sind auch bei andern Krystallen beobachtet, z. B. bei Quercit, auf welchen ich von Arzruni aufmerksam gemacht wurde.

»Eine weitere, wie mir scheint, hierher gehörige Thatsache ist von v. Zepharovich (Z. Kr. 1887. XIII. p. 145) in neuester Zeit bei Mannit beobachtet. An zwei verschieden dargestellten Präparaten, welche, wie die chemische Analyse ergab, genau identisch zusammengesetzt waren, fanden sich erhebliche Differenzen der Winkel (über 3 Grad) und optischen Eigenschaften (Ebene der optischen Axen und die Grösse des Axenwinkels verschieden)«, so dass Zepharovich die Substanz für dimorph hält, während Lehmann glaubt, dass beide Formen durch unendlich viele Zwischenstufen stetig mit einander verbunden seien, da sie gleichen Schmelzpunkt besitzen und sehr zur Trichitenbildung neigen — wie das zweifach äpfelsaure Ammoniak. Ebenso würde sich nach Ansicht von Lehmann die Verschiedenheit in den optischen Eigenschaften der beiden Mannitpräparate durch das Vorhandensein innerer Spannungen in den Krystallen erklären lassen.

»Es würden somit auch ganz gerade ausgebildete Trichiten innere Spannungen besitzen, wie sie den gekrümmten sicher zukommen.

»Mir ist nur eine einzige Annahme bekannt, welche diese eigenthümlichen Eigenschaften der Trichiten einigermassen verständlich machen würde, nämlich die Annahme der Einwirkung der Oberflächenspannung der Krystalle.

»Bereits Quincke (1877, W. A. II. p. 145) spricht sich dahin aus, dass auch an der Oberfläche fester Körper eine Oberflächenspannung, ähnlich wie bei Tropfen von Flüssigkeiten, existire und vielleicht ist dieselbe noch erheblich grösser. Diese Oberflächenspannung hat das Streben, die Form des Krystalls zu einer Kugel abzurunden, es werden alle Ecken und Kanten des Krystalls nach innen gezogen und zwar um so stärker, je mehr sie zugespitzt und zugeschärft sind.

. . . . »Ist einmal ein Trichit gekrümmt, oder in Bezug auf die Winkel deformirt, so ist die Entstehung von Spannungen leicht erklärlich.

Die neu sich ansetzende Substanz ist genöthigt, sich ebenfalls in gebogenen Schichten anzulegen; wenn aber gebogene Federn eine nach der anderen zu einem Ganzen verbunden werden, dann vereinigt die so entstehende zusammengesetzte Feder schliesslich die Kräfte aller einzelnen und die Wirkung kann eine enorm starke werden (p. 366).

. . . . »Wachsen die bei der Verdickung von Trichiten oder allgemein von Krystallen mit anomaler Structur auftretenden innern Spannungen nicht bis zum Aufreissen der Oberfläche oder zur vollständigen Zertrümmerung des Krystalls an, so kann der Krystall scheinbar eine ganz normale Beschaffenheit annehmen. Das Vorhandensein der inneren Spannungen wird sich aber nichts destoweniger in verschiedener Weise geltend machen, vor allem in dem anomalen Verhalten des Krystalls bei Beobachtung im polarisirten Licht.«

Wenn es somit möglich ist, dass bei einer zur Trichitenbildung neigenden Substanz durch die Oberflächenspannung innere Spannungen und hierdurch optische Anomalien entstehen können, so müssen wir doch eingestehen, dass der bestimmte Nachweis immer sehr schwierig, für Mineralien aber kaum jemals möglich sein wird. Wir müssen uns damit begnügen, die Trichitenbildung als eine mögliche Ursache innerer Spannungen und optischer Anomalien anzuerkennen.

Dasselbe gilt für den Einfluss der Skelettbildung auf die optische Structur von Krystallen.

Manche Substanzen haben die Eigenschaft, nach verschiedenen Richtungen verschieden stark zu wachsen, z. B. nach den Kanten stärker als nach den Flächen. Hierdurch entstehen die als Skelette bezeichneten Wachsthumsformen. Werden nun »die Lücken des Skeletts bis zur vollkommenen Flächenausbildung ausgefüllt, so werden muthmasslich schon durch die Temperaturverschiedenheiten während des Wachsthums innere Spannungen auftreten können. An der Stelle, wo die Ausscheidung stattfindet, wird latente Wärme frei, die Temperatur ist also höher als an andern Stellen. Nun lagern sich aber die neu angesetzten Schichten so zwischen die Äste des Krystallskeletts, dass sie im Momente der Entstehung den Raum gerade ausfüllen. Kühlen sie sich also nun nachträglich auf die Temperatur der übrigen Krystallmasse ab, so wird die dabei stattfindende Contraction nothwendigerweise mit dem Auftreten von Spannungen verbunden sein und es wäre nur zu untersuchen, ob diese wirklich so hohe Werthe annehmen können, um die in einzelnen Fällen beobachteten optischen Anomalien zu erklären« (O. Lehmann, Molekularphysik. I. pag. 390).

Man hat in der That bisher wiederholt geglaubt, die Ursache optischer Anomalien in der Art des Wachsthums — Skelettbildung und Ausfüllung der Lücken — suchen zu können, aber später hat man die Ursache doch vielfach in etwas anderem erkannt, z. B. bei Boracit in der Dimorphie. Ich bin nicht im Stande, einen sicher hierher gehörigen Fall anzuführen.

In der neuesten Zeit hat J. Martin[1] die optischen Anomalien einiger organischer Substanzen — p-Brombenzylcyanid, Penta-Erythrit, des kohlensauren Guanidin, des Benzil und des tetragonalen Strychninsulfat — auf die Skelettbildung zurückgeführt. Er meint, »dass es weniger der Druck der Oberflächentheile, als das gegenüber der Zwischensubstanz vorherrschende Wachsthum des Krystallskeletts es ist, welches im Krystallinnern jene durch optische Anomalien sich äussernden Zerrungen hervorruft«.

Bei den vier erstern Substanzen mögen die Anomalien, wie es Martin annimmt, auf derartigen Wachsthumsvorgängen beruhen, wenigstens ist keine andere Ursache bekannt. Bei dem schwefelsauren Strychnin aber beruhen sie jedenfalls z. Th. auf Wasserverlust der Substanz. Wenn aber in künstlichen Krystallen durch diese Art des Wachsthums Anomalien entstehen können, so ist kein Grund vorhanden, warum nicht auch in Mineralien ähnliche Ursachen ähnliches bewirkt haben sollten. Jedoch ist man bei ihnen noch mehr auf Vermuthung angewiesen; denn wenn auch wirklich ein sogenanntes Gerüst zu beobachten ist, wie z. B. im Apophyllit, so ist damit noch nicht bewiesen, dass das Gerüst von irgend welchem Einfluss auf die optische Structur gewesen sei, da es nicht nothwendig bei dem Wachsthum zuerst sich gebildet haben muss, sondern möglicherweise erst durch die Verwitterung dadurch entstanden ist, dass die Substanz von den Flächen aus mehr und leichter angegriffen wurde, als von den Kanten aus; und wenn wirklich das Gerüst als Skelett da war, so ist es noch nicht nothwendig, dass die Substanz, welche später die Lücken des Skeletts ausfüllt, optisch anomal wird. Skelettbildung beobachtet man bei reinem Alaun oder Bleinitrat sehr häufig, niemals aber Anomalien in der Ausfüllungsmasse des Skeletts.

Fassen wir diese Betrachtungen zusammen, so müssen wir sagen, dass optische Anomalien durch Wachsthumsstörungen — Druck während des Wachsthums, Trichiten- und Skelettbildung — gewiss vorkommen können, dass aber aus dem Verhalten des fertig gebildeten Krystalls die Ursache der Anomalien nur schwer zu ermitteln ist. Leichter ist dies der Fall, wenn die Anomalien durch Druck auf den fertig gebildeten Krystall entstanden sind. Mit solchen Krystallen werden wir uns in dem folgenden Capitel zunächst beschäftigen und hieran andere anschliessen, deren Anomalien zwar nicht ebenso sicher, aber doch mit grösster Wahrscheinlichkeit auf die Wirkung ähnlicher Kräfte zurückgeführt werden können.

---

[1] Beiträge zur Kenntniss der optischen Anomalien einaxiger Krystalle. N. Jb. Beil.-Bd. VII. 1890.

Steinsalz.

Literatur.

1. D. Brewster. Ed. Trans. VIII, I. p. 159. 1817.
2. —— Phil. Trans. 1816, I. p. 77.
3. —— Phil. Trans. 1816, I. p. 167.
4. Biot. Pol. lam. p. 647—654.
5. W. Wertheim. P. A. 86. p. 325—329. 1852.
6. E. Reusch. P. A. 132. p. 443. 1867.
7. F. Klocke. Doppelbrechung regulärer Krystalle. N. Jb. 1880, I. p. 82.
8. R. Brauns. Zur Frage der optischen Anomalien. N. Jb. 1887, I. p. 48—53.
9. C. Marangoni. Beziehung zwischen Elektricität und Licht. Referat im N. Jb. 1889, II. p. 422 aus Atti della R. Acad. dei Lincei. Ser. IV. 1887. Rendiconti Bd. III. p. 202—205.
10. R. Panebianco. Rivista di mineralogia italiana. I. 1887. p. 22—24. Referat in N. Jb. 1889, II. p. 424.
11. C. Marangoni. Kennzeichen für eine natürliche Classification der Krystalle. Atti della R. Acad. dei Lincei. Ser. IV. Rendiconti Bd. IV. p. 215.
12. G. Lucini. Über die vermeintliche Einaxigkeit des Steinsalzes. Rivista di mineralogia italiana. Bd. II. p. 83—84. 1888. Referat über 11 u. 12 im N. Jb. 1889, II. p. 425.
13. F. Pockels. Über die durch einseitigen Druck hervorgerufene Doppelbrechung regulärer Krystalle, speciell von Steinsalz und Sylvin. W. A. 39. p. 440—469.

Wie wir früher gesehen haben, kannte Brewster Doppelbrechung bei natürlichem Steinsalz (1), auch hatte er gefunden, dass einfachbrechendes Steinsalz durch mechanischen Druck (3) und Erhitzen (2) doppelbrechend wird.

Biot (4) sagt, doppelbrechende Spaltungsstücke von Steinsalz verhielten sich z. Th. so, als sei das Salz unter einem äusseren Druck oder bei höherer Temperatur mit folgender ungleichmässiger Abkühlung krystallisirt, da die durch Zerschlagen getrennten Theile nicht mehr so wirken wie vorher. In andern Fällen erklärt er die Doppelbrechung des Steinsalzes durch Lamellarpolarisation.

Wertheim (5) hat durch Versuche gefunden, dass einfachbrechendes Steinsalz durch Druck dauernd doppelbrechend wird und sieht hierin eine Stütze der Biot'schen Hypothese. Der mechanische Druck suche die Lamellen, aus welchen der Krystall bestehe, von einander zu entfernen und Zwischenräume zu schaffen, welche, obgleich dem Auge unsichtbar, sich doch durch die Wirkung des polarisirten Lichtes verrathen.

F. Klocke erwähnt (7), dass Spaltungsstücke von Steinsalz stets parallel den Dodekaëderflächen eingeschaltete, scharf begrenzte doppelbrechende Streifen zeigen, und betrachtet dies als eine Folge molekularer Umlagerung durch Druck und Schlag. Natürliche unverletzte Krystalle wirkten nur sehr schwach auf das Gypsblättchen in unregelmässig vertheilten Flecken.

Die Doppelbrechung des Steinsalzes findet eine Erklärung durch die Versuche von E. Reusch (6) und hängt mit der Verschiebbarkeit nach den Granatoëderflächen zusammen. Der genannte Forscher giebt darüber folgende Mittheilung:

»An einem quadratischen Stück Steinsalz von etwa 18 mm Seite und 8 mm Dicke werden mit der Schlichtfeile zwei kurze gegenüberliegende Kanten gerade abgestumpft und die angefeilten Flächen gepresst; schon ein mässiger Druck bewirkt eine bleibende, im Polarisationsapparat sichtbare Verdichtung längs der Diagonale, welche die Richtung des Druckes enthält. Bei gesteigertem Druck erhält man einen glänzenden Bruch nach einer Granatoëderfläche. . . . . Aber auch wenn (beim Spalten) keine Sprünge (in der Richtung von Granatoëderflächen) entstanden sein sollten, sieht man nach dem Schlage im Polarisationsinstrument tiefgehende diagonale Farbenstriche und die Beobachtung mit der Gypsplatte weist auf bleibende Verdichtungen im Sinne der grossen Diagonale der Granatoëderflächen.

»Durchbohrt man eine quadratische Platte in der Mitte, indem man einen kleinen Metallbohrer mit kleinstem Zwange zwischen den Fingern dreht, so haben nach beiden Diagonalen bleibende Verdichtungen stattgefunden und die Platte zeigt im Polarisationsinstrument mit Gypsplatte eine blumenartige Figur, in welcher die Farben ähnlich vertheilt sind wie in einer Alaunplatte, welche nach Biot die sogenannte Lamellarpolarisation zeigt.

»Presst man eine kleine Säule von quadratischer oder rechteckiger Basis auf den kleinsten Flächen, so erscheint im Polarisationsinstrument ein System sich rechtwinklig kreuzender Streifen, welche 45° mit der Druckrichtung machen. Es hängt von zufälligen Umständen ab, welche der Säulenflächen die Streifen am besten zeigt. Bei gesteigertem Druck erhalten die Säulenflächen eine oberflächliche Streifung senkrecht zur Druckrichtung; sie krümmen sich, oft entstehen Spalten und wenn man die Säule vor und nach dem Pressen misst, ergiebt sich eine bleibende Zusammendrückung, welche 5 bis 8 Procent der ursprünglichen Länge betragen kann. Die ausserordentliche Compressibilität und Deformirbarkeit des Steinsalzes scheint einzig mit Verschiebungen längs der Granatoëderflächen zusammenzuhängen. Es ist deswegen kaum möglich, ein Stück Steinsalz zu bekommen, das nicht, entweder durch Druck an Ort und Stelle, oder den gewaltsamen Act des Abspaltens bleibende Spuren von inneren Verschiebungen und Umstellungen der Moleküle und eben damit Doppelbrechung zeigte, wie dies Biot und Brewster längst beobachtet haben.«

Ähnliche Resultate wie E. Reusch durch Druck erhielt R. Brauns (8) durch schnelle Abkühlung erhitzter Steinsalz-Spaltungsstücke:

»Wenn man ein Spaltungsstück von einfachbrechendem Steinsalz in der Flamme eines Bunsen'schen Brenners vorsichtig erhitzt (nicht bis zum Schmelzen) und in Öl schnell abkühlt, so findet man es bei der Untersuchung im Polarisationsapparat doppelbrechend geworden: von jeder der Seitenflächen erstreckt sich ein doppelbrechendes Feld in das Innere, während da, wo zwei Felder zusammenstossen, also in der Richtung der Diagonalen, das Licht nur einfach gebrochen wird, die Grenze der Sectoren wird also durch schwarze Banden gebildet; nach dem Innern zu wird die Doppelbrechung schwächer, und in der Mitte von grösseren Platten findet nur einfache Lichtbrechung statt.

»Nach Einschaltung eines Gypsblättchens vom Roth I. Ordnung in der üblichen Lage werden diejenigen Sectoren blau, durch welche die kleinere Elasticitätsaxe des Gypsblättchens hindurchgeht, in jedem einzelnen Sector ist also die kleinere Elasticitätsaxe normal zur Randkante. Da bei gepresstem Steinsalz die kleinere Elasticitätsaxe normal zur Druckrichtung ist, so verhalten sich die gekühlten Spaltungsstücke wie gespannt in der Richtung der Würfelkanten, wie man es a priori nicht anders erwartet. . . . . Bei einigen dieser Platten findet man auch an den Ecken kleine doppelbrechende Stellen, die in der Diagonalstellung auslöschen, eine Andeutung der in den folgenden, stärker erhitzten Platten hervortretenden Structur.

»Erwärmt man nämlich ein anderes Stück, wegen der eintretenden Erscheinungen am besten ein würfeliges von etwa 1 cm Kantenlänge, stärker wie vorher, erst allmählich, damit es nicht springt, dann bis zum beginnenden Schmelzen und kühlt möglichst schnell in Öl, so zeigt dies ein anderes Verhalten wie die vorigen. In der Diagonalstellung zwar ist die Erscheinung von der der vorigen nicht sehr verschieden, nur sind die schwarzen Banden, welche die Grenzen der Sectoren bilden, viel breiter (Fig. 38, Taf. II); die Lage der Elasticitätsaxen ist dieselbe wie vorher. Bringt man aber die Platte in die Normalstellung, so dass die Würfelkanten den Schwingungsrichtungen der Nicols parallel sind, so ist sie nicht über die ganze Oberfläche hin dunkel, wie die vorige, sondern die breiten, in der Diagonalstellung schwarzen Banden sind jetzt hell, mit Ausnahme des Centrums, das in der Form eines Kreuzes dunkel bleibt; ebenso sind die in der Diagonalstellung hellen Sectoren jetzt dunkel bis auf die Streifen, auf die wir gleich näher eingehen werden. Die Erscheinung ist naturgetreu in Fig. 39 auf Taf. II wiedergegeben; sie ist, von den Streifen abgesehen, ganz analog der einer gekühlten Glasplatte von quadratischem Umriss.

»Über die Lage der optischen Elasticitätsaxen giebt die Untersuchung mit dem Gypsblättchen Auskunft: die kleinere fällt in jedem Feld mit der Längsrichtung zusammen. Wenn wir hier statt der Ecken Kanten supponiren (nur der bequemeren Definition wegen), so können wir sagen: bei dem gekühlten Steinsalz ist in allen Sectoren die kleinere optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante eines jeden. Wir werden sehen, dass dies bei dem gekühlten Sylvin nicht so ist.

»Neben den beschriebenen Erscheinungen beobachtet man i. p. L. an den Platten der ersten, besonders aber der zweiten Art dieselben in der Richtung der Diagonalen verlaufenden, den seitlichen Granatoëderflächen parallel gehenden Streifensysteme, wie wir sie vom gepressten Steinsalz her kennen.

»Dieselben sind bald sehr fein und dicht aneinander gedrängt, sich mehr oder weniger durchkreuzend, bald durchziehen sie als grobe, verschwommene Streifen den ganzen Krystall; die feinen finden sich nur an dem Rand, wo die stärkste Erwärmung und die schnellste Abkühlung stattgefunden hat.«

Die Streifen treten am besten in einer Zwischenstellung der Platte hervor, in der Diagonalstellung tritt das Maximum der Auslöschung ein. Die

Lage der optischen Elasticitätsaxen gegen die Richtung der Streifen ist nicht constant, bald fällt die kleinere, bald die grössere Elasticitätsaxe mit der Längsrichtung derselben zusammen.

Erwärmt man diese Platten, so werden sie schon nach kurzer Zeit einfachbrechend, nach Entfernung der Flamme wieder doppelbrechend; sobald sie einfachbrechend geworden sind, sind auch die Streifen verschwunden. Wenn man dagegen länger erhitzt und allmählich kühlt, so verschwindet die Doppelbrechung fast ganz. Offenbar werden die Moleküle in dem auf verhältnissmässig rohe Weise in Spannungszustand versetzten Körper nur mit einer geringen Kraft in ihrer anomalen Lage gehalten und bekommen durch das Erwärmen genügende Beweglichkeit, um ihre normale Lage wieder einnehmen zu können.

Die durch Druck (und demgemäss auch durch schnelle Kühlung) in Steinsalz hervorgerufene Doppelbrechung ist, vorausgesetzt, dass die Druckkräfte gleich waren, nicht in allen Richtungen gleich stark. Vielmehr hat Pockels (12) gefunden, dass, wenn ein Steinsalzkrystall eine bestimmte Dehnung einmal in der Richtung einer Octaëdernormalen, zweitens in der Richtung einer Würfelnormalen erfährt, die dadurch erzeugte Doppelbrechung im letzteren Falle beinahe doppelt so stark ist als im ersten.

Zum besseren Verständniss der später bei Zinkblende und Bleinitrat zu beschreibenden Erscheinungen müssen wir endlich noch die Änderungen in dem optischen Verhalten kennen lernen, welche durch die Körnerprobe in der Umgebung der Schlagfigur eintreten.

Bei der Körnerprobe entstehen in der Regel zwei lange Risse, welche in der Richtung der Diagonalen verlaufen und die zur Würfelfläche senkrechten Gleitflächen von ∞O andeuten, und zwei kleine Risse, welche den Würfelkanten parallel gehen und Spaltrisse sind. Durch den ausgeübten Druck wird das Steinsalz längs der Schlaglinien und über diese hinaus doppelbrechend. Die doppelbrechenden Partien erscheinen im Blaugrau der ersten Ordnung und treten als ein helles Kreuz aus der dunklen Masse des Spaltungsstückes hervor (Fig. 40, Taf. II), wenn die Würfelkanten den Schwingungsrichtungen der Nicols parallel gehen; die Arme des Kreuzes stehen gegen die Schwingungsrichtungen der Nicols um 45° gedreht, sie löschen aus, wenn sie mit diesen zusammenfallen, also in der Diagonalstellung der Platte. In der Regel gehen die doppelbrechenden Streifen noch über die Schlaglinien hinaus und deuten die Richtung derselben auch da an, wo sie als Risse nicht mehr ausgebildet sind. Dies hebe ich hier hervor, weil wir bei Zinkblende auf ähnliche Verhältnisse stossen werden. Die Untersuchung mit dem Gypsblättchen ergiebt, dass in jedem Arm die grössere optische Elasticitätsaxe mit der Längsrichtung zusammenfällt; in der Richtung der Diagonalen hat demnach eine Compression stattgefunden. Auch längs der kurzen, den Würfelkanten parallel gehenden Risse, ist in der Diagonalstellung der Platte bisweilen Doppelbrechung zu bemerken; zwei kurze Streifen durchkreuzen sich, wie die Risse, unter 90°, es fällt aber in ihnen nicht die grössere optische Elasti-

citätsaxe in die Längsrichtung, sondern die kleinere. Innerhalb dieser kurzen Streifen ist demnach die Krystallmasse dilatirt.

Wenn ein Spaltungsstück von Steinsalz von dem elektrischen Funken durchbohrt wird, so wird es an der Durchbohrungsstelle ebenso verändert wie durch die Körnerprobe; jedesmal entstehen Risse nach den Spalt- und Gleitflächen und das optische Verhalten ist dasselbe (9). Marangoni wollte in den durch den elektrischen Funken hervorgerufenen Veränderungen Abweichungen von den durch die Körnerprobe hervorgerufenen gefunden haben (9), Panebianco (10) aber betont dem gegenüber, dass die Veränderungen beidesmal dieselben sind, was auch nicht anders zu erwarten war.

In einer späteren Arbeit erklärte Marangoni (11) das Steinsalz für hexagonal, weil es nur in der Richtung einer Octaëderfläche bei gekreuzten Nicols dunkel bleibe, nach den andern aber hell werde, Beobachtungen, deren Unrichtigkeit Lucini (12) nachgewiesen hat.

Bei Erklärung der beschriebenen Erscheinungen müssen wir auseinander halten die in der Richtung der Diagonalen verlaufenden doppelbrechenden Streifen und die Feldertheilung in den gekühlten Platten. Die letztere ist ebenso zu erklären wie die Erscheinungen in den gekühlten Gläsern und diesen ganz analog. In den heissen Platten sind die Theilchen weiter von einander entfernt als bei gewöhnlicher Temperatur; durch die schnelle Kühlung werden sie in ihrer Lage fixirt und haben keine Zeit, die der niederen Temperatur entsprechende Lage anzunehmen. Hierdurch entsteht in der Platte ein Spannungszustand, welcher sich durch Doppelbrechung zu erkennen giebt.

Anders dagegen verhält es sich mit den in der Richtung der Diagonalen verlaufenden doppelbrechenden Streifen, welche im gepressten oder gekühlten Glas kein Analogon finden und mit der krystallinen Structur des Steinsalzes in Zusammenhang stehen. Bei Steinsalz haben die Granatoëderflächen den Charakter von Gleitflächen, d. h. durch geeigneten Druck kann ein Abschieben in der Richtung einer der Granatoëderflächen bewirkt werden. Kurz ehe die Abschiebung erfolgt, befindet sich das Steinsalz in der Umgebung der Stelle, wo sie vor sich gehen würde, bei würfeligen Spaltungsstücken also in der Richtung der Diagonalen, in einem gespannten Zustand, der bei Steinsalz nach Aufhören des Drucks andauert und durch die Doppelbrechung erkannt wird.

Sylvin.

Literatur.

1. F. Klocke. Doppelbrechung regulärer Krystalle. N. Jb. 1880, I. p. 82.

2. R. Brauns. Ein Beitrag zur Kenntniss der Structurflächen des Sylvin. N. Jb. 1886, I. p. 232.

3. —— Zur Frage der optischen Anomalien. N. Jb. 1887, I. p. 53.

4. F. Pockels. Über die durch einseitigen Druck hervorgerufene Doppelbrechung regulärer Krystalle, speciell von Steinsalz und Sylvin. W. A. 39. p. 440—469.

An natürlichem Sylvin hat F. Klocke Doppelbrechung beobachtet (1). Ein Krystall von Stassfurt zeigte, mit dem Gypsblättchen untersucht, viele lebhaft gelbe und blaue regellose Partien; Sylvin von Kalusz war stärker doppelbrechend und durchsetzt von vielen parallel den Dodekaëderflächen gelagerten Streifen, ähnlich den Spaltungsstücken von Steinsalz.

In einfachbrechendem Sylvin kann durch Druck oder schnelle Kühlung nach den Beobachtungen von R. Brauns ebenso Doppelbrechung hervorgerufen werden, wie in Steinsalz, und die Erscheinungen sind den dort beschriebenen im allgemeinen analog. Jedoch besteht ein wesentlicher Unterschied in dem Verhalten gegen Druck.

In gepresstem Steinsalz fällt die grössere optische Elasticitätsaxe immer in die Richtung des Drucks, einerlei ob es senkrecht zu zwei Würfelflächen oder senkrecht zu zwei angeschliffenen Granatoëderflächen gepresst wird. Bei Sylvin dagegen fällt die kleinere optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung, wenn er senkrecht zu zwei Würfelflächen gepresst wird (2), und es fällt die grössere Elasticitätsaxe in diese Richtung, wenn er senkrecht zu zwei angeschliffenen Granatoëder- (3) oder Octaëderflächen (4) gepresst wird. Sylvin verhält sich demnach gegen einen in verschiedenen Richtungen ausgeübten Druck verschieden, Steinsalz gleich.

Dem entspricht das Verhalten der gekühlten Platten (3). Bei gekreuzten Nicols ohne Gypsblättchen ist die Erscheinung dieselbe wie bei Steinsalz, wo möglich noch schöner. Bestimmt man aber nach Einschaltung des Gypsblättchens die Lage der Elasticitätsaxen in den Sectoren, so ergiebt sich, dass sie zwar in den von den Ecken ausgehenden Sectoren dieselbe ist wie bei Steinsalz, indem die kleinere Elasticitätsaxe in deren Längsrichtung fällt, dass sie aber in den von den Kanten ausgehenden Sectoren gerade umgekehrt ist und die grössere Elasticitätsaxe normal zu der Kante eines jeden ist. Wenn daher auch in der Lage der optischen Elasticitätsaxen verschieden, so verhalten sich doch gekühlte Platten von Steinsalz und Sylvin insofern gleich, als sie beide in den Richtungen senkrecht zu den Begrenzungselementen gespannt sind, ebenso wie gekühlte Gläser.

Die bei Steinsalz beschriebenen Streifensysteme sind auch im Sylvin zu beobachten, jedoch scheinen sie oft gekrümmt und einander nicht genau parallel zu sein, was wohl mit den durch die Schlagfiguren angedeuteten abweichenden Cohäsionsverhältnissen zusammenhängen mag.

Die in der Umgebung der Schlagfiguren durch den Druck entstehende Doppelbrechung tritt bei Sylvin in ganz besonders schöner Weise in Erscheinung. Die Schlagfiguren auf den Würfelflächen des Sylvin weichen von denen des Steinsalzes ab, indem sie weder zur Würfelfläche, noch im allgemeinen zu einander normal sind, sondern unter 104° bez. 76° oder 90° sich durchkreuzen und nach verschiedenen Richtungen gegen die Würfelfläche einfallen, wodurch R. Brauns (2) zu der Annahme geführt wurde, dass sie einen Achtundvierzigflächner andeuten. Will man die optischen Erscheinungen um die Schlagfiguren herum besonders schön haben, so ist es rathsam, nicht auf den

Körner zu schlagen, sondern mit einer Stecknadel zu drücken. Druck- und Schlagfiguren sind dieselben, und das Aufblättern um die Druckstelle herum wird vermieden.

Sylvin ist nun viel empfindlicher gegen Druck als Steinsalz, und man erhält mit Leichtigkeit die in Fig. 41 auf Taf. II abgebildete Erscheinung in der Normalstellung der Platte und bei gekreuzten Nicols.

Den Mittelpunkt bildet die Ansatzstelle der Nadelspitze, von hier gehen zwei ziemlich gleich grosse Kreuze aus, ein dunkles und ein helles, welche bei einer nur 15fachen Vergrösserung das ganze Gesichtsfeld einnehmen. Das dunkle Kreuz fällt mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammen, das helle ist um 45° hiergegen gedreht. Die Schlagfiguren sind meist schief gegen die Arme des hellen Kreuzes, ihre Richtung ist nicht, wie die des Kreuzes, genau diagonal. Das schwarze Kreuz ist unmittelbar an der Druckstelle ganz schmal, und die beiden Arme fallen genau in die Richtung der Würfelkanten. In dem hellen Kreuz fällt in jedem Arme die grössere optische Elasticitätsaxe in die Längsrichtung, woraus hervorgeht, dass in der Richtung der Diagonalen wieder Verdichtungen stattgefunden haben.

In der Diagonalstellung löscht das helle Kreuz aus, das andere bleibt dunkel, es treten nur, wie bei Steinsalz, zwei kurze, den Würfelkanten parallel gehende, doppelbrechende Streifen auf, bei denen nun aber nicht die kleinere optische Elasticitätsaxe in die Längsrichtung fällt, wie bei Steinsalz, sondern die grössere, was durch das abweichende Verhalten des Sylvin gegen einen senkrecht zu den Würfelflächen ausgeübten Druck sich erklärt. Auch bei Sylvin haben, wie bei Steinsalz, auf eine kurze Strecke um die Druckstelle herum Verdünnungen in der Richtung der Würfelkanten stattgefunden.

Weiterhin beobachtet man in der Diagonalstellung einen schwach hervortretenden achtstrahligen Stern, der dadurch entsteht, dass die Arme des hellen Kreuzes nicht ganz gleichmässig auslöschen, sondern, während sie in der Mitte dunkel sind, zu beiden Seiten einen schmalen Streifen übrig lassen, der noch etwas auf das Licht wirkt.

Durch den Druck springen häufig die Spaltungsstückchen entzwei und diese sind besonders geeignet, um sich davon zu überzeugen, dass durch Erwärmen die Doppelbrechung wieder verschwindet.

Legt man beide Stücke zusammen, so zeigen sie die eben beschriebene Erscheinung, jedes die Hälfte der Figur. Erwärmt man nun eins derselben, etwa indem man es auf ein Blech legt und, um schnelle Abkühlung zu verhindern, mit einem Uhrglas bedeckt und nun mit einem Bunsenbrenner das Blech so stark wie möglich erhitzt, aber so, dass das Stückchen nicht zerspringt, und lässt langsam abkühlen, so findet man es einfachbrechend geworden. Man kann beide Theile so, wie sie zusammengehören, wieder aneinander legen, in dem nicht erhitzten ist die Hälfte der Figur noch zu sehen, im andern verschwunden.

Die Doppelbrechung ist daher eine Spannungsdoppelbrechung, hervorgerufen durch Druck oder schnelle Kühlung. Die in Steinsalz und Sylvin

bisher beobachteten optischen Anomalien können ausnahmslos als durch Druck entstanden erklärt werden.

Auf ähnlichen Ursachen wie die Anomalien von Steinsalz und Sylvin beruhen die von Salmiak und Chlorsilber.

Salmiak zeigt nach Biot (Pol. lam. p. 666) oft recht lebhafte, aber wegen der inhomogenen Beschaffenheit unregelmässige Doppelbrechung; auch Bromkalium, KBr, ist bisweilen, wie es scheint, durch Druck doppelbrechend (Marbach, P. A. 94. 1855; Klocke, N. Jb. 1880, I, p. 82).

In Krystallen von natürlichem Chlorsilber sind Anomalien, soweit mir bekannt, noch nicht beobachtet. A. von Lasaulx hat gefunden (Sitzb. d. schles. Ges. f. vaterl. Cultur 1879), dass in ihnen bleibende Deformation nicht nur dauernde Doppelbrechung hervorruft, sondern dass die Substanz zugleich gefärbt und dichroitisch (blau und rosaroth) wird. Nach längerem Liegen verschwindet die so erzeugte Farbe, tritt aber beim Erwärmen von neuem auf.

Zinkblende.

Literatur.

1. D. Brewster. Phil. Trans. 1818, I. p. 255.
2. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 242.
3. P. Hautefeuille. Observations cristallographiques sur une variété de blende naturelle. C. r. T. 93. p. 774—777. 1881.
4. —— Sur la cristallisation des sulfures de cadmium et de zinc. C. r. T. 93. p. 824—827. 1881.
5. E. Mallard. De l'action de la chaleur sur les substances cristallines. Bull. min. V. p. 235—237. 1882.
6. J. Nolting. Über das Verhältniss der Schalenblende zur regulären Blende und zum hexagonalen Würtzit. Diss. Kiel 1887.

Die Blende zeigt häufig durch verschiedenfarbige Schichten hervorgerufene Zonenstructur, welche sich von der bei andern Krystallen zu beobachtenden dadurch unterscheidet, dass die Schichten nur einer einzigen Fläche, einer Octaëderfläche parallel gehen, wodurch diese vor den andern ausgezeichnet ist. Die zu den Schichten normalen Granatoëderflächen sind grösser wie die andern und erscheinen als vollkommene, ununterbrochene Spaltflächen. Im ganzen zeigt solche Blende aber neun Blätterbrüche: drei, welche mit den eben erwähnten drei vorherrschenden Spaltflächen das Granatoëder bilden und drei andere, den ersteren gegenüber, welche einem um die auf den Schichten Normale gewendeten Granatoëder angehören. Hieraus ergiebt sich, dass die durch die Farbe unterschiedenen Schichten einen Zwilling bilden und dass durch Wiederholung der Zwillingsbildung die Zonenstrustur entsteht.

Diese von Hautefeuille (3) mitgetheilten Beobachtungen kann ich vollkommen bestätigen. In meinem Besitz befindet sich ein Stück Blende von Picos de Europa, welches alle diese Erscheinungen zeigt. Bei rhomboëdrischer Auffassung würde das Prisma zweiter Stellung vorherrschen und an den bei-

den Enden von einem Rhomboëder begrenzt sein. Der obere Theil aber ist in Zwillingsstellung zu dem untern, da die Rhomboëderflächen an beiden Enden der abwechselnden Prismenkanten auftreten; Zwillingsebene wäre die Basis und zahlreiche Zwillingslamellen wären nach ihr in den Krystall eingelagert. Factisch also ist die zu den vorherrschenden Granatoëderflächen normale Octaëderfläche (bezw. Tetraëderfläche) Zwillingsebene, der obere Theil befindet sich gegen den unteren in Zwillingsstellung, und Lamellen sind nach ihr zwillingsartig in den Krystall eingelagert.

Nach weiteren Beobachtungen von Hautefeuille (3) ist die Normale der Schichten eine optische Elasticitätsaxe und wahrscheinlich optische Axe. Blättchen sehr schief zu den Schichten geschliffen, sind fast ohne Wirkung auf das polarisirte Licht, solche senkrecht dazu hellen auf in dem Graublau der ersten Ordnung, das optische Verhalten ist im einzelnen sehr verschieden. Spaltblättchen, welche den zur Schichtung normalen Flächen parallel sind, lassen häufig an gleich gefärbten Stellen eine mehrfache Combination verzwillingter Theile erkennen; es treten im ganzen vier Systeme von Lamellen auf, welche den Octaëderflächen parallel sind und von welchen eins am meisten ausgebildet ist und die Zonenstructur bewirkt. Hautefeuille bezeichnet daher die Symmetrie der zonar gebauten Blende als rhomboëdrisch.

In der andern Abhandlung (4) theilt Hautefeuille mit, dass die Zinkblende, die zonar gebaute sowohl als die gewöhnliche, durch Rothgluth in Würtzit umgewandelt werde und in dem ersteren Fall der Würtzit so orientirt sei, dass seine optische Axe senkrecht sei zu den Schichten der zonaren Blende. Er nimmt darum an, dass die Elementarkrystalle, welche die zonare Blende zusammensetzen, durch Rothgluth aus der rhomboëdrischen in die hexagonale Symmetrie übergeführt werden.

Mallard ist der Ansicht, dass die Blende aus submikroskopisch verzwillingten Lamellen von Würtzit bestehe.

Nach der durch Mallard mitgetheilten (5) Beobachtung von Bertrand wird ein Spaltblättchen der Blende von Santander, das nur schwach doppelbrechend war, stark doppelbrechend, wenn es kurze Zeit stark erhitzt wird; es zeigt sich dann in eine Anzahl von Streifen (plages) getheilt, welche im convergenten Licht sehr excentrische Ringe und eine positive Axe schief zur Ebene des Blättchens austreten lassen, wie Würtzit. Diese Streifen löschen parallel den Diagonalen des Rhombus aus. Es giebt auch andere, von denen ein Theil nach der einen Seite des Rhombus, ein anderer Theil nach der anliegenden Seite desselben auslöschen; diese zeigen weder Axen noch Ringe im convergenten Licht.

Aus diesen Beobachtungen schliesst Mallard, dass die Blende aus Würtzitlamellen bestehe, und es müsse, da bei der Umlagerung eine Änderung der Form mit blossem Auge nicht zu bemerken sei, das Netz des Würtzit pseudoregulär sein. Das Axenverhältniss von Würtzit ist $a : c = 1 : 0,820$, oder nach Multiplication von c mit $\frac{3}{2}$, $a : c = 1 : 1,230$[1]). Im regulären System aber

[1]) Nicht wie Mallard berechnet 1,223.

ist das Verhältniss einer trigonalen Zwischenaxe zu einer digonalen $1 : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} =$ $1 : 1{,}225$, was mit dem Axenverhältniss des Würtzit nahe übereinstimmt. Dies befestigt Mallard in seiner Ansicht: »Les cristaux de blende sont formés par des hémitropies submicroscopiques de würtzite, comme le montre la double réfraction dont ils sont doués. Les superpositions multipliées de fibres très minces ayant des orientations différentes annulent ou diminuent considérablement d'ordinaire la double réfraction de l'ensemble. La chaleur en produisant un nouvel arrangement hémitropique, permet aux fibres superposées de prendre une même orientation et permet à la double réfraction de se manifester avec toute son énergie.«

Zu anderen Resultaten kam Nölting.

Nölting untersuchte (6) Blende von Santander, Rodna, Lahnstein und aus dem Binnenthal; letztere ist fast ganz isotrop, die andern sind in dickeren Stücken fast immer doppelbrechend. Ein Spaltungsstück der Blende von Santander zeigt sich, im polarisirten Licht betrachtet, durchsetzt von parallelen, auf einem Spaltriss senkrecht stehenden Streifen, welche parallel und senkrecht zu ihrer Längsrichtung auslöschen und nach einer Octaëderfläche eingelagerte Zwillingslamellen andeuten. Sie sind bisweilen schon makroskopisch zu erkennen, indem sie als Streifen von rother und gelber Farbe scharf begrenzt das ganze Spaltungsstück durchsetzen; jeder farbige Streifen entspricht einer Zwillingslamelle nach *O*. Ebenso wie die Blende von Santander verhält sich die von Rodna und Lahnstein. Schliffe nach dem Würfel und dem Octaëder verhalten sich analog den Blättchen parallel dem Granatoëder.

Zum Vergleich untersuchte Nölting von Friedel dargestellten Würtzit und fand, dass er zum Unterschied gegen Blende stark doppelbrechend sei, einheitlich polarisire und auch noch als Pulver deutlich doppelbrechend sei, während gepulverte Blende einfachbrechend sei.

Hieraus schliesst Nölting mit Recht, dass die Blende regulär, aber optisch anomal sei.

Nach meinen Beobachtungen, welche mit den angeführten im wesentlichen übereinstimmen, zeigen Spaltblättchen von Zinkblende im polarisirten Licht das folgende Verhalten:

1) Sie sind in allen Lagen dunkel, also einfachbrechend.

2) Die einfachbrechende Masse ist durchzogen von einem System doppelbrechender Streifen, die normal zu einem granatoëdrischen Spaltriss verlaufen; Auslöschung erfolgt parallel der Längsrichtung (Fig. 42, Taf. II).

3) Zwei Systeme doppelbrechender Streifen durchkreuzen sich unter 120°, das eine ist normal zu einem Spaltriss, das andere zum benachbarten, eins aber herrscht immer vor.

4) Ein System doppelbrechender Streifen verläuft in der Richtung der langen Diagonale und löscht parallel der Längsrichtung aus (Fig. 44). Die Streifen sind manchmal ganz ausserordentlich fein und dicht gedrängt und rufen eine Structur hervor, die der des Mikroklins sehr ähnlich ist.

5) Doppelbrechende Streifen verlaufen sowohl in der Richtung der langen Diagonale als normal zu den Spaltrissen; die letzteren sind immer schärfer als die andern.

Die Lage der optischen Elasticitätsaxen innerhalb der doppelbrechenden Streifen ist nicht constant, bald fällt die grösste, bald die kleinste Elasticitätsaxe in die Längsrichtung derselben.

Die bei Blende beobachteten optischen Anomalien finden eine befriedigende Erklärung durch die folgenden Versuche, welche uns zeigen, dass durch Druck ebensolche Erscheinungen hervorgerufen werden können, wie sie die natürliche Blende uns oft darbietet.

Ein vorsichtig abgespaltenes Blättchen der Zinkblende von Picos de Europa erweist sich unter dem Mikroskop häufig als durchaus einfachbrechend. Wenn man nun auf dasselbe von oben her mit der Spitze eines Messers oder einer Nadel einen ganz gelinden Druck ausübt, so wird es in demselben Augenblick um die von der Spitze berührte Stelle herum doppelbrechend, namentlich treten zwei doppelbrechende, unter schiefem Winkel sich durchkreuzende Streifen hervor, ohne aber von Rissen, wie bei Steinsalz, begleitet zu sein. Hebt man die Spitze auf, so bleibt die Erscheinung unverändert bestehen; drückt man in derselben Weise mehrere Stellen der Platten, so entsteht an jeder ein schiefes, nur im polarisirten Licht sichtbares, bei gekreuzten Nicols helles Kreuz, und alle Kreuze liegen parallel, d. h. ihre entsprechenden Arme sind parallel. Es ergiebt sich weiter, dass der eine Arm immer senkrecht ist zu einem Spaltriss, der andere zum benachbarten, beide durchkreuzen sich unter 60° (Fig. 43). Jeder Arm löscht parallel der Längsrichtung aus, der eine nach der einen Seite des Rhombus, der andere nach der anliegenden, ganz wie es Mallard von der doppelbrechenden Blende beschrieben hat (vergl. oben p. 165). Die grösste optische Elasticitätsaxe fällt in die Längsrichtung der Streifen, in dieser Richtung, also normal zu den Spaltrissen, ist die Masse comprimirt, denn in gepresster Blende fällt, wie der Versuch lehrt[1]), die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung.

Nimmt man statt eines einfachbrechenden Blättchens ein solches, welches doppelbrechende, nach einer Octaëderfläche eingelagerte und zu einem Spaltriss senkrecht stehende Lamellen enthält, und ruft nun durch Druck wieder jene sich durchkreuzenden Streifen hervor, so geht immer der eine den natürlichen Streifen parallel, während der andere wieder normal zum zweiten Spaltriss ist. Es ergiebt sich hieraus, dass die natürlichen und die durch Druck hervorgerufenen doppelbrechenden Streifen gleiche Orientirung haben und Octaëderflächen parallel gehen; speciell die Richtung der letzteren entspricht den beiden zu der Granatoëderfläche, auf welche der Druck ausgeübt wurde, normalen Octaëderflächen.

---

[1]) Wird Blende in der Presse einem Druck unterworfen, so wird sie leicht stark doppelbrechend, die grösste optische Elasticitätsaxe fällt in die Druckrichtung. Die Doppelbrechung ist gleichmässig über die Platte vertheilt, doppelbrechende Streifen entstehen nicht. Mit dem Aufhören des Druckes verschwindet die Doppelbrechung fast vollständig wieder.

Die Empfindlichkeit der Blende gegen Druck ist so gross, dass jede leise Berührung mit einem spitzen Gegenstand dauernde Doppelbrechung an der Berührungsstelle hervorruft. Streicht man mit einer Nadelspitze über ein Spaltungsstückchen hin, so bleibt der Weg durch eine doppelbrechende Linie kenntlich, in der überall kleine, nach Octaëderflächen orientirte, doppelbrechende Streifen hervortreten.

Wenn man ein Blättchen, in dem man durch Druck diese doppelbrechenden Streifen hervorgerufen hat, erwärmt, so verschwinden sie wieder vollständig, und wenn die Erwärmung und Abkühlung mit der nöthigen Vorsicht geschieht, so wird das Blättchen wieder dauernd einfachbrechend.

Die Entstehung dieser doppelbrechenden Streifen ist offenbar in ähnlicher Weise zu erklären, wie die bei Steinsalz. Hier wie dort spielen die Structurflächen eine gewisse Rolle, indem nach ihnen die Streifen orientirt sind. Bei Steinsalz entsprachen diese den Granatoëderflächen und waren schon an dem Auftreten der Schlaglinien zu erkennen. Wir haben aber dabei betont, dass die Doppelbrechung über die Schlaglinien hinausgehe und ihre Richtung andeute, auch wo sie nicht vorhanden sind, und bei den octaëdrischen Platten von Bleinitrat werden wir sehen, dass durch Erwärmen um Einschlüsse herum doppelbrechende Streifen entstehen, welche die Richtung der Schlaglinien einhalten, ohne dass Risse hierbei entstehen.

Aus diesen Beobachtungen schon würde man mit einiger Wahrscheinlichkeit schliessen können, dass bei Zinkblende analoge Verhältnisse vorliegen, dass die Octaëderflächen Structurflächen sind, wenn auch Risse nach ihnen nicht entstehen. Dieser Schluss aber findet eine Bestätigung durch eine die unsrige ergänzende Beobachtung von O. Mügge[1]), wonach die Octaëderfläche an der Zinkblende von Santander in der That als Structurfläche auftritt. Sie ist nicht ganz spiegelnd und eben, aber doch gut genug, dass der Winkel zu einer Spaltfläche gemessen werden konnte; der Werth dieses Winkels (144° 40′) lässt keinen Zweifel, dass die Gleitfläche die Lage einer Octaëderfläche hat, deren Neigung zur Granatoëderfläche 144° 44′ 8″ sein muss. Auch O. Mügge ist es nicht gelungen, eine Methode zu finden, welche gestattet, die Structurfläche willkürlich hervorzurufen; Schlaglinien entstehen allerdings wegen der Sprödigkeit des Materials und der Vollkommenheit der Blätterbrüche nicht, ihre Richtung aber wird angedeutet durch jene doppelbrechenden Streifen.

Die auf einem rhombischen Spaltblättchen in der Richtung der langen Diagonale verlaufenden doppelbrechenden Streifen erklären sich in derselben Weise. Nach den an der genannten Stelle mitgetheilten Beobachtungen von O. Mügge ist das Ikositetraëder $2O2$ (112) ebenfalls eine Structurfläche der Zinkblende und tritt an späthigen Blendestücken von Santander als solche auf, in der Weise, dass grosse Spaltungsstücke von zahlreichen anders orientirten Lamellen durchsetzt sind, welche Spaltbarkeit nach zwei Flächen

1) N. Jb. 1883, I. p. 53.

von ∞O(110) erkennen lassen; diese beiden Spaltflächen werden durch eine Fläche von $2O2$ (112) gerade abgestumpft, deren Lage am Goniometer genau festgestellt werden konnte.

Dasselbe habe ich an einem Spaltungsstück der Blende von Santander beobachten können. An demselben herrschen zwei unter 90° zu einander geneigte Spaltflächen vor, und schneiden sich in einer langen Kante, welche der Lage nach einer würfeligen Ecke des Granatoëders entspricht. Auf der grösseren von den beiden Spaltflächen verlaufen zahlreiche, meist sehr schmale, aber auch bis zu 2 mm breite Streifen normal zu dieser langen Kante und demgemäss in der Richtung der langen Diagonale des Rhombus. Die schmaleren Streifen sind nur durch ihre Spiegelung deutlich zu sehen und sie verlieren sich allmählich von der langen Kante ab, wo sie am dichtesten gedrängt sind, in die ungestreifte Masse der Blende. Die breiteren Lamellen gehen über die ganze Fläche hin und gestatten, ihre Orientirung gegen die übrige Masse der Blende zu bestimmen. In ihnen nämlich leuchtet nach oben und unten je eine Spaltfläche von ∞O auf und beide schneiden sich in einer Kante unter 120°. Diese Kante aber wird gerade abgestumpft durch die Gleitfläche, deren Orientirung wir bestimmen wollen; sie hat die Lage einer Fläche des Ikositetraëders $2O2$. Die Flächen des Ikositetraëders $2O2$ haben demnach bei Zinkblende den Charakter von Gleitflächen.

Untersucht man parallel der grossen Spaltfläche abgesprengte Blättchen im polarisirten Licht, so treten doppelbrechende, in der Richtung der langen Diagonale des Rhombus verlaufende Streifen deutlich hervor (Fig. 44), in derselben Weise wie oben beschrieben. Die doppelbrechenden Streifen fallen mit den, schon mit blossem Auge wahrnehmbaren Streifen zusammen und sind wie diese orientirt, ihre Zahl aber ist meist viel grösser.

Bei der Zinkblende sind demnach die Flächen des Octaëders und des Ikositetraëders $2O2$(112) Structurflächen und zwar Gleitflächen, und nach unseren Erfahrungen steht der Annahme nichts im Weg, dass die nach jenen Flächen eingelagerten Lamellen durch Druck[1]) entstanden sind. Da nun jene Flächen nicht, wie bei Steinsalz, Symmetrieebenen sind, so kommen die Lamellen gegen das Hauptindividuum in Zwillingsstellung und der Abschiebung geht die Umlagerung voraus. Hierbei tritt Spannung ein und äussert sich durch Doppelbrechung in der Richtung der Structurflächen. Bei Kalkspath kann man bekanntlich eben durch Druck hervorgerufene und noch nicht das ganze Spaltungsstück durchsetzende Zwillingslamellen durch Erwärmen wieder zum Verschwinden bringen. Ebenso verschwinden bei Zinkblende jene durch Druck hervorgerufenen, nach den Octaëderflächen orientirten doppelbrechenden

[1]) Die oben beschriebenen Zwillinge der Zinkblende nach einer Octaederfläche würden den natürlichen Druckzwillingen des Kalkspathes z. B. von Auerbach an der Bergstrasse analog sein, in denen die Basis als Gleitfläche, und Zwillingsebene fungirt. Der obere Theil ist gegen den untern nach der Basis in Zwillingsstellung und Zwillingslamellen nach der Basis sind beiden Hälften eingelagert. Die Zwillingslamellen nach $2O2$ bei Zinkblende würden denen nach $-\frac{1}{2}R$ bei Kalkspath entsprechen.

Streifen, wenn man das Blättchen erwärmt. Hier wie da nehmen die Theilchen ihre ursprüngliche Lage wieder an, die Erscheinungen sind dem Wesen nach dieselben.

Alle an der Zinkblende beobachteten Anomalien sind in dieser Weise als Druckwirkungen zu erklären.

Verhalten der Blende bei dem Erhitzen.

Wenn man dünne Spaltblättchen von Blende kurze Zeit der Rothgluth aussetzt und dann an der Luft schnell kühlt, so werden sie stark doppelbrechend und polarisiren in den Farben der II. und III. Ordnung. Die doppelbrechenden Partien sind ebenso nach den Structurflächen, dem Octaëder und dem Ikositetraëder $2O2$ orientirt wie die durch Druck hervorgerufenen doppelbrechenden Streifen, bilden aber in der Regel breitere Lamellen wie diese.

Ein Theil der erhitzten und gekühlten Blättchen löscht in der Richtung der Diagonalen des Rhombus aus und zeigt in den Zwischenstellungen einheitliche Polarisation ohne Streifen. Andere ebenfalls einheitlich polarisirende Spaltblättchen löschen parallel und senkrecht zu einem granatoëdrischen Spaltriss aus. Ein dritter Theil zeigt jene doppelbrechenden Streifen, welche zu den Spaltrissen des Granatoëders normal sind, entweder nur ein System oder beide; die zwischen den Streifen befindliche Substanz ist entweder einfachbrechend, oder doppelbrechend mit diagonaler Auslöschung.

Im convergenten Licht zeigen die diagonal auslöschenden Partien den Austritt einer excentrischen optischen Axe, die andern Partien keine besondere Erscheinung.

Meine Beobachtungen stimmen in allen Punkten mit den von Bertrand-Mallard mitgetheilten überein, ob aber die von jenen und Hautefeuille gegebene Deutung, dass diese Lamellen nun Würtzit seien, richtig sei, muss ich bezweifeln, ich glaube vielmehr, dass die bei dem Abkühlen auftretende Doppelbrechung nur Spannungsdoppelbrechung ist.

Die Doppelbrechung entsteht nämlich nicht durch das Erhitzen, sondern durch die schnelle Abkühlung. Wenn man die rothglühenden Blättchen allmählich kühlt, so entsteht nur schwache oder gar keine Doppelbrechung, und wenn man stark doppelbrechend gewordene Blättchen wieder zur Rothgluth erhitzt und nun langsam kühlt, so verschwindet wieder die starke Doppelbrechung. Wenn man ein stark doppelbrechendes Blättchen unter dem Mikroskop zwischen zwei Objectträgern zerdrückt, so verschwindet die starke Doppelbrechung und die Splitter polarisiren nur noch in dem Graublau der I. Ordnung.

Wegen dieses Verhaltens bin ich der Ansicht, dass diese durch Erhitzen entstandenen doppelbrechenden Partien nicht Würtzit sind, sondern in Spannungszustand befindliche Zinkblende, zumal da sie ebenso orientirt sind, wie die durch Druck entstehenden doppelbrechenden Streifen.

Bleinitrat.

Anomalien in der Umgebung von Einschlüssen und Anomalien durch den Druck wachsender Krystalle.

Wenn einfachbrechende Krystalle von Bleinitrat in einer Presse einem Druck unterworfen werden, so werden sie doppelbrechend, die grösste optische Elasticitätsaxe fällt in die Druckrichtung. Die Doppelbrechung ist aber nicht dauernd, nach Anfhören des Drucks werden die Krystalle wieder einfachbrechend. Und doch kann durch Druck dauernde Doppelbrechung in den Krystallen von Bleinitrat hervorgerufen werden, nur muss der Druck in bestimmter Weise erfolgen. Dauernde Doppelbrechung durch Druck entsteht in Bleinitrat:

1) in der Umgebung der Schlagfiguren,

2) in der Umgebung von Einschlüssen durch die Ausdehnung derselben beim Erwärmen,

3) während des Wachsthums durch den Druck wachsender Krystalle.

Auf die durch isomorphe Beimischung hervorgerufene Doppelbrechung werden wir später zu sprechen kommen.

Ehe wir die durch Druck in Bleinitrat entstehende Doppelbrechung kennen lernen, müssen wir uns mit den bisher noch nicht beschriebenen Schlagfiguren bekannt machen, da ebenso wie bei Steinsalz, Sylvin und Blende die doppelbrechenden Partien nach den Gleitflächen orientirt sind.

Schlagfiguren.

Wenn man auf die vorherrschende Octaëderfläche den Körner aufsetzt und ganz schwach schlägt, oder besser noch, wenn man auf diese Fläche mit der Nadel einen senkrechten Druck ausübt, entsteht als Schlagfigur ein dreistrahliger Stern, dessen Strahlen sich unter unter Winkeln von 120° schneiden, senkrecht sind zu den Combinationskanten $O/\infty O\infty$ und normal zur Oberfläche in den Krystall eindringen (Fig. 45, Taf. II). Fast immer entstehen zwischen diesen drei Strahlen noch andere, welche kleiner sind und schief zur Oberfläche in das Innere sich fortsetzen. Um den Ansatzpunkt des Körners entstehen meist mehrere kreisförmig verlaufende Risse, deren äusserster durch die Enden der Spaltlinien geht.

Die Schlagfigur auf der Würfelfläche besteht aus zwei unter 90° sich schneidenden Armen, welche normal zur Oberfläche in den Krystall eindringen und den Combinationskanten $\infty O\infty/O$ parallel gehen (Figur 46); auf einer Würfelfläche eines reinen Würfels würden sie in der Richtung der Diagonalen verlaufen. Ebenso wie vorher entstehen um den Ansatzpunkt des Körners kreisförmige Risse.

Bei der Körnerprobe oder auch schon bei dem Druck mit der Nadel kommt es häufig vor, dass der Krystall in der Richtung der Schlagrisse

zerspringt. Die Bruchfläche ist etwas muschlig aber glänzend und dem Augenmaass nach normal zur oberen Octaëder- oder Würfelfläche. Auf dem Goniometer gab die Bruchfläche eine Reihe schwacher, verschwommener Reflexbilder, ihre Neigung zur Oberfläche konnte aber doch zu annähernd 90° gemessen werden, die Abweichungen von 90° rühren von der muschligen Beschaffenheit her.

Hieraus und aus der Lage der Schlagfiguren auf Octaëder- und Würfelflächen ergiebt sich, dass bei Bleinitrat die Granatoëderflächen den Charakter von Gleitflächen haben.

Doppelbrechung in der Umgebung der Schlagfiguren.

Durch den bei Hervorrufen der Schlagfiguren ausgeübten Druck werden die vorher vollkommen einfachbrechenden Krystalle doppelbrechend.

Auf einer Octaëderfläche beobachtet man bei gekreuzten Nicols um die Ansatzstelle des Körners als Mittelpunkt zuweilen ein schwarzes Kreuz, dessen Arme mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen und bei dem Drehen des Präparates ziemlich unverändert stehen bleiben. In der Regel jedoch ist die Doppelbrechung rings um die Ansatzstelle nicht ganz gleichmässig vertheilt, sondern sie ist längs der Halbirungslinien der von den Schlagstrahlen eingeschlossenen Winkel stärker als um diese selbst, so dass man bisweilen einen dreistrahligen Stern sieht, dessen Strahlen den Winkel je zweier Schlaglinien halbiren und als die Fortsetzung der Schlaglinien anzusehen sind. Ebenso zieht von der Spitze einer jeden Schlaglinie ein doppelbrechender Streifen über die Oberfläche des Krystalls hin und deutet die Richtung der Schlaglinien an, in derselben Weise wie wir es bei Steinsalz gesehen haben. An den Stellen, wo die concentrischen Risse sind, ist kaum Doppelbrechung in dem Krystall zu bemerken; dies erklärt sich leicht dadurch, dass durch die Risse die Spannung und hiermit die Doppelbrechung aufgehoben wird. Bei Steinsalz und Sylvin entstehen solche Risse nicht, weil ihre Masse eine gewisse Plasticität besitzt; sie wird comprimirt und doppelbrechend. Bleinitrat aber ist spröd, und die Spannungen werden leicht durch Risse ausgelöst.

Die Auslöschung der Streifen erfolgt parallel ihrer Längsrichtung, also auch parallel den Schlagstrahlen. Nach Einschaltung eines Gypsblättchens vom Roth I. Ordnung werden die Streifen gelb, durch welche die Richtung der kleinsten optischen Elasticitätsaxe des Gypsblättchens hindurchgeht, d. h. die grösste Elasticitätsaxe fällt in die Längsrichtung der Streifen.

Um die Schlagfiguren auf den Würfelflächen ist die Substanz ebenfalls doppelbrechend geworden, aber in etwas anderer Weise wie auf den Octaëderflächen, indem keine Andeutung von einem dunklen Kreuze oder dergleichen zu sehen ist, sondern bei einer gewissen Lage des Krystalls in einem kleinen Bezirk rings um die Ansatzstelle des Körners Aufhellung, in einer andern Lage vollständige Auslöschung eintritt. Die Auslöschung erfolgt in der Diagonalstellung

der von den Combinationskanten $\infty O\infty/O$, oder in der Normalstellung der von den Würfelkanten begrenzten Platte. Die Spannungsrichtungen fallen demnach auf den Würfelflächen nicht in die Richtungen der Schlaglinien, sondern in die Richtungen der seitlichen Würfelflächen, bezw. der zur Würfelfläche geneigten Granatoëderflächen.

Die Richtung der grösseren optischen Elasticitätsaxe geht von der Ansatzstelle des Körners nach aussen und fällt in der von den Combinationskanten $\infty O\infty/O$ begrenzten Platte in die Richtung der Diagonalen, ist also normal zu den Würfelflächen.

Doppelbrechung um Einschlüsse.

Werden einfachbrechende Krystalle von Bleinitrat kurze Zeit auf einem Objectträger erwärmt, so werden sie in der Nähe der Einschlüsse (von Mutterlauge) doppelbrechend, einschlussfreie Krystalle dagegen bleiben einfachbrechend. Irgend welche Risse, wie bei den Schlagfiguren, entstehen nicht.

Auf der Octaëderfläche beobachtet man bei gekreuzten Nicols um den Einschluss als Mittelpunkt einen scharfen, sechsstrahligen Stern (Fig. 47, Taf. II); je ein Strahl ist senkrecht zu einer Kante und löscht aus, wenn seine Längsrichtung mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt, vier Strahlen sind immer hell, in einer Zwischenstellung auch alle sechs. In jedem Strahl fällt die grösste Elasticitätsaxe mit der Längsrichtung zusammen, in dieser Richtung sind die Theilchen wieder zusammengepresst wie bei den Schlagfiguren.

Werden die Krystalle bis nahe zum Zerspringen erhitzt, so wird die Zahl der doppelbrechenden Sterne in einschlussreichen Krystallen so gross, dass sie sich gegenseitig berühren und die Platte dadurch wie gestreift aussieht.

Eine solche Platte ist in Figur 48 dargestellt. An mehreren Stellen war der sechsstrahlige Stern deutlich und scharf, an andern fehlten zwei oder mehr Strahlen, die ganze Platte erschien nach drei unter 120° sich schneidenden Richtungen gestreift.

Auf der Würfelfläche tritt bei gekreuzten Nicols um den Einschluss herum ein helles Kreuz hervor, dessen Arme in dem von den Combinationskanten $\infty O\infty/O$ gebildeten Quadrat diagonal, also zu den eigentlichen Würfelkanten parallel verlaufen (Fig. 49) und auslöschen, wenn ihre Längsrichtung, bezw. eine Würfelkante mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt. Die Lage der optischen Elasticitätsaxen ist wie vorher, die grösste fällt mit der Längsrichtung zusammen.

Die Auslöschung erfolgt also in derselben Lage wie in den Krystallen mit Schlagfiguren diagonal in dem von den Combinationskanten $\infty O\infty/O$, normal in dem von den Würfelkanten gebildeten Quadrat. Die Spannungsrichtungen fallen demnach auf der oberen Würfelfläche wieder in die Richtung der seit-

lichen Würfelflächen, bezw. der zur Würfelfläche geneigten Granatoëderflächen.

In stark erhitzten, einschlussreichen Krystallen sieht man um jeden Einschluss ein helles Kreuz und der ganze Krystall erscheint in der Richtung der Diagonalen gestreift (Fig. 50).

In allen Fällen ist die entstandene Doppelbrechung dauernd; höchstens wird sie nach längerem Liegen etwas schwächer; ich hatte diesen Eindruck, als ich nach einem Jahre die Krystalle aufs neue prüfte.

Die Entstehung dieser Doppelbrechung ist leicht zu erklären; sie wird offenbar durch den Druck hervorgerufen, den jeder Flüssigkeitseinschluss auf die umgebende Masse in Folge seiner Ausdehnung ausübt. Die entstehenden Erscheinungen sind analog den durch den Druck bei der Körnerprobe hervorgerufenen, nur schöner und schärfer.

Würde keine Fläche den Charakter einer Gleitfläche haben, so würde man erwarten können, dass die doppelbrechenden Partien um einen Einschluss nicht nach bestimmten Richtungen orientirt, sondern ziemlich gleichmässig um den Druckpunkt, den Einschluss, vertheilt sein werden. Im polarisirten Licht würde in allen Lagen des Krystalls ein schwarzes Kreuz, das sogenannte Brewster'sche Kreuz, um den Einschluss herum zu beobachten sein.

Dies findet man bei vielen Mineralien, Sodalith, Hauyn, Pyrop, Leucit, Diamant, Korund, Bernstein und andern. Soweit Mittheilungen hierüber vorliegen, fällt die grösste optische Elasticitätsaxe immer in die Richtung des Radius; man würde also nach Analogie der oben mitgetheilten Beobachtungen zu schliessen haben, dass auch in diesen Fällen die Doppelbrechung durch den Druck hervorgerufen ist, welchen die eingeschlossene Substanz vermöge ihrer abweichenden Ausdehnung auf die umgebende Masse ausübt, oder während, oder nach der Bildung der Krystalle ausgeübt hat. Hierher gehören auch die von C. Klein[1]) mitgetheilten Fälle, in denen durch mechanische Beimengung einer (organischen) Substanz zu einer andern Anomalien entstanden sind.

Einaxige Krystalle werden um einen Einschluss herum zweiaxig, im übrigen sind die Verhältnisse denen in regulären Krystallen analog. Einen schönen Fall dieser Art hat A. von Lasaulx in einem Korund beobachtet[2]), der einen Zirkonkrystall eingeschlossen enthielt: »Unter gekreuzten Nicols nimmt man um den Zirkonkrystall ein dunkles Kreuz wahr, welches an den Ort geknüpft ist, also ganz analog der Erscheinung solcher Kreuze in gepressten Gläsern. Bei einer Drehung des Präparates bleibt das Kreuz natürlich stehen. Die zwischen den dunklen Balken liegenden Felder erscheinen hell und geben im convergenten Lichte das zweiaxige Interferenzbild. Die Öffnung der Hyperbeln ist eine ziemlich beträchtliche und entspricht im

---

1) Über die Ursache optischer Anomalien in einigen besonderen Fällen. N. Jb. 1885, II. p. 237.

2) Z. Kr. X. p. 353. 1885.

Maximum einem scheinbaren Axenwinkel von 18°—20° im gewöhnlichen Lichte. Die Ebene der optischen Axen steht in allen Theilen normal zu einer Senkrechten auf dem Contour des Zirkonkrystalls. Je näher am Zirkon, um so grösser ist die Öffnung der Hyperbelbalken oder der scheinbare Axenwinkel. Verschiebt man das Präparat in der Richtung einer Normalen zur Axenebene, so nimmt der Axenwinkel mit der Entfernung vom Zirkon ab und das Interferenzbild wird ganz allmählich ein einaxiges. Auch hier ist also eine Compression in der Richtung der Normalen zum Zirkoncontour die Ursache der Erscheinung.«

Solche Anomalien in der Umgebung von Einschlüssen können in den Krystallen aller Systeme vorkommen und sind immer leicht auf ihre Ursache zurückzuführen.

Doppelbrechung in Bleinitrat durch den Druck der wachsenden Krystalle.

In einer Lösung isolirt und an den Wänden der Krystallisationsschale nicht festgewachsene Krystalle von reinem Bleinitrat sind vollkommen einfachbrechend.

Von den zu unregelmässigen Gruppen zusammengewachsenen Krystallen dagegen sind die in der Mitte einer Gruppe fast alle doppelbrechend, die am Rand befindlichen nur am äussersten, nach aussen frei gewachsenen Theil einfachbrechend.

Die Doppelbrechung ist unregelmässig in den Krystallen vertheilt, sie geht in einem Krystall immer von solchen Punkten aus, wo andere Krystalle mit einer Ecke oder Kante an ihn anstossen. Bei gekreuzten Nicols sieht man von der Berührungsstelle ausgehende, gekrümmte, schwarze Banden, die beim Drehen des Krystalls ihre Lage etwas ändern, dazwischen im Graublau bis Gelb der I. Ordnung polarisirende Masse. Die Untersuchung mit einem Gypsblättchen ergiebt, dass die grösste optische Elasticitätsaxe, welche uns die Druckrichtung anzeigt, immer nach dem angewachsenen Krystall zu liegt. Die Masse des Krystalls ist demnach von dem angewachsenen Krystall gepresst; der von ihm ausgeübte Druck erzeugt oft nicht nur Doppelbrechung, sondern ruft auch Risse hervor, welche von dem Druckpunkt aus in den Krystall sich hineinziehen.

Die Druckkräfte, welche die Störungen erzeugen, können nur in den wachsenden Krystallen selbst gesucht werden; diese hindern sich da, wo sie mit Ecken und Kanten zusammenstossen, an der freien Ausbildung und rufen Wachsthumsstörungen hervor, welche sich durch Doppelbrechung äussern.

Diamant.

Literatur.

1. D. Brewster. Phil. Trans. 105. p. 31. 1815.
2. —— Ed. Trans. VIII, 1. p. 160. 1817.
3. —— Phil. Trans. 106, I. p. 167. 1816.
4. —— Phil. Trans. 108, I. p. 255. 1818.
5. —— Ed. Phil. J. III. p. 98. 1820. G. A. 83 (7). p. 484. 1826.
6. —— Phil. Mag. VII. Juli—December 1835. p. 245. P. A. 36. p. 564. 1835.
7. —— Ed. Trans. 23. p. 41. 1864.
8. H. C. Sorby. Proceedings of the royal society 18, II. p. 295. 1869.
9. A. Schrauf. T. M. M. 1873. p. 289.
10. E. Cohen. Über Einschlüsse in sudafrikanischen Diamanten. N. Jb. 1876. p. 752.
11. J. Hirschwald. Über Wachsthum und Zwillingsbildung am Diamant. Z. Kr. I. p. 216. 1877.
12. K. Martin. Notizen über Diamant. Z. g. G. 30. p. 524. 1878.
13. Éd. Jannettaz. Sur les colorations du diamant dans la lumière polarisée. Bull. min. II. p. 124—129. 1879.
14. E. Mallard. Ebenda, p. 130.
15. E. Cohn. Brief im N. Jb. 1882, I. p. 177.
16. E. Mallard. Action de la chaleur sur les cristaux pseudosymmétriques. Bull. min. V. p. 241. 1882.

Die Doppelbrechung des Diamant wird seit den Tagen Brewster's in der Literatur oft erwähnt und beschrieben. Wohl ausnahmslos beziehen sich die Mittheilungen auf Krystalle mit unregelmässiger Doppelbrechung, die namentlich in der Umgebung von Einschlüssen auftritt. Unsere Beobachtungen haben uns auch mit regelmässigeren Erscheinungen bekannt gemacht, daneben aber diejenigen Anderer bestätigt.

Nach ihrem Verhalten gegen das Licht kann man die Diamanten in drei Gruppen eintheilen:

1) Einfachbrechende Krystalle.

2) Doppelbrechende Krystalle mit regelmässiger, nicht an Einschlüsse gebundener Doppelbrechung.

2) Doppelbrechende Krystalle mit unregelmässiger Doppelbrechung, deren Auftreten an Einschlüsse gebunden ist, oder auch nicht.

Die einfachbrechenden Krystalle sind wasserhell oder gelblich, ohne Einschlüsse und ohne Risse, überhaupt fehlerfrei: Octaëder und Granatoëder.

Die doppelbrechenden Krystalle sind wasserhell, häufiger schwach rauchgrau, gelblich oder bräunlich, oft rissig, etwas trüb mit oder ohne Einschlüsse.

Die regelmässigsten Erscheinungen zeigen die

Krystalle mit vorherrschendem Würfel.

1) Diamant vom Cap. Würfel mit gekrümmtem Pyramidenwürfel. Graulich-gelb.

In der Normalstellung, wenn also die Würfelkanten den Schwingungsrichtungen der Nicols parallel gehen, zeigt der Krystall bei gekreuzten Nicols

ein schwarzes Kreuz, dessen Arme mit den Mittellinien der Würfelfläche zusammenfallen und die Fläche in vier Felder theilen. Das schwarze Kreuz verbreitert sich von der Mitte nach aussen hin allmählich, so dass ein jeder Arm die Gestalt eines Dreiecks hat, in welchem die Höhenlinien schwarz, einfachbrechend, die beiden Hälften aber grau, schwach doppelbrechend sind und allmählich in stärker doppelbrechende Partien übergehen (Fig. 51, Taf. II); am stärksten ist die Doppelbrechung in der Richtung der Diagonalen an den Ecken der Platte. Hier sieht man vier schmale Felder in dem Gelb der I. Ordnung, welches nach der Mitte zu ebenfalls in das Grau der I. Ordnung übergeht.

Mit Hülfe des Gypsblättchens findet man, dass in jedem von den Ecken ausgehenden doppelbrechenden Feld die grösste optische Elasticitätsaxe in die Richtung der Diagonale der Würfelfläche fällt.

In der Diagonalstellung löschen die in der Richtung der Diagonalen verlaufenden Felder aus, und man bemerkt in dem Krystall nur noch unregelmässig vertheilte doppelbrechende Flecken.

Nach den verschiedenen Würfelflächen hindurch betrachtet, zeigt der Krystall das gleiche Verhalten.

2) Diamant aus Brasilien. Würfel mit gekrümmtem Pyramidenwürfel. Graulich-gelb.

Verhält sich ähnlich dem vorigen; zeigt in der Normalstellung wieder ein schwarzes Kreuz, dessen Arme mit den Mittellinien der Würfelfläche zusammenfallen, aber nach den Kanten hin nicht breiter werden (Fig. 52, Taf. II). Hierdurch erscheint die Fläche in vier Quadrate getheilt; in jedem ist die Doppelbrechung an der Ecke am stärksten und nimmt von hier aus nach der Mitte hin allmählich ab. An den Ecken tritt das Grün II. Ordnung auf, hierauf folgt Blau II., Roth, Gelb und in der Nähe des Kreuzes Grau I. Ordnung. Das Bild erinnert sehr an das, welches gekühlte Gläser von quadratischer Form zeigen.

In jedem der vier Felder fällt wieder die Axe der grösseren optischen Elasticität in die Richtung der Würfelflächendiagonale.

In der Diagonalstellung der Platte bemerkt man nur schwach doppelbrechende Stellen an den Kanten, die Hauptmasse löscht aus.

3) Diamant vom Cap. $\infty O \infty (100)$, $\infty O (110)$ gekrümmt, $O (111)$.

Dieser Krystall zeigt sowohl in der Normal- als auch in der Diagonalstellung ein Zerfallen in je vier, durch schwarze Kreuzarme getrennte Felder.

In der Normalstellung des Krystalls verlaufen die ziemlich breiten Arme des Kreuzes nach den Mittellinien der Würfelfläche und theilen die Fläche in vier, im Blaugrau I. Ordnung polarisirende Felder. Die grösste optische Elasticitätsaxe fällt wieder in die Richtung der Würfelflächendiagonalen (Fig. 53, Taf. II).

In der Diagonalstellung erscheint der Krystall durch ein nach den Diagonalen verlaufendes, schärferes schwarzes Kreuz in vier Felder getheilt (Fig. 54, Taf. III), die etwas lebhaftere Interferenzfarben zeigen, als die den Ecken anliegenden quadratischen Felder. Die grösste optische Elasticitätsaxe ist in jedem Feld normal zur Randkante.

Das Verhalten dieser Krystalle und namentlich das des letzten ist ganz analog dem, das man an gekühlten Steinsalzspaltungsstücken oft beobachtet, und wir werden einen ähnlichen Spannungszustand wie in diesen auch für Diamant annehmen, jedoch aus weiteren Versuchen zu dem Schluss geführt werden, dass die Doppelbrechung im Diamant nicht sowohl durch schnelle Kühlung, als vielmehr durch Druck entstanden sein muss.

Andere untersuchte würfelige Krystalle zeigten ähnliche, aber schwächere und weniger regelmässige Erscheinungen.

Unregelmässige Polarisationserscheinungen zeigen besonders die octaëdrischen Krystalle, wenigstens unter dem mir vorliegenden Material, und zwar treten im wesentlichen dieselben Erscheinungen auf bei glatten Octaëdern, bei Zwillingen nach dem Spinellgesetz und Octaëdern mit gekerbten Kanten. Wir brauchen daher die specielle Formenausbildung nicht besonders hervorzuheben. Regelmässige Feldertheilung, wie in den würfeligen Krystallen, habe ich in den octaëdrischen nie beobachtet.

Krystalle mit vorherrschendem Octaëder.

Die Doppelbrechung ist am schwächsten in den wasserhellen oder schwach gelblichen, aber klaren Krystallen und wird im allgemeinen um so stärker und unregelmässiger, je rissiger die Krystalle sind. Die stärkste Doppelbrechung zeigen rauchgraue Krystalle mit fast metallischem Glanze. Wir lassen in der Beschreibung die stärker doppelbrechenden auf die schwächer doppelbrechenden folgen.

Ein wasserheller Diamant vom Cap, Octaëder mit eingekerbten Kanten, 0,25 g schwer und 4 mm dick, zeigt nur ganz geringe Spuren von Doppelbrechung an einigen nicht scharf abgegrenzten Stellen, während die Hauptmasse einfachbrechend ist. Unabhängig hiervon sind kleine doppelbrechende Stellen um Einschlüsse oder kleine Risse herum; die Doppelbrechung ist auch hier sehr schwach und nimmt von dem Einschluss aus radial allmählich ab; man sieht daher bei gekreuzten Nicols in jedem Azimuth ein kleines schwarzes Kreuz, in dessen Centrum der Einschluss liegt, und zwischen den Kreuzesarmen dunkelgraue Felder; die grösste optische Elasticitätsaxe fällt in die Richtung der Radien.

Zahlreiche andere wasserhelle und gelbe Krystalle vom Cap und aus Brasilien zeigten nur einzelne schwach doppelbrechende Flecken, während die Hauptmasse einfachbrechend war.

In andern ist die ganze Masse schwach doppelbrechend, und man sieht von Punkten im Innern nach den Ecken und den Kanten hin gekrümmte

schwarze Banden verlaufen, die bei dem Drehen des Krystalls ihre Lage verändern und in unregelmässigen Windungen über die Platte hin wandern. An Einschlüsse oder Risse sind diese Erscheinungen nicht gebunden, sie haben die grösste Ähnlichkeit mit denen, welche eingetrocknete Gelatineplatten und manche gekühlte Gläser zeigen.

In andern, bisher oft beschriebenen Fällen liegen die doppelbrechenden Stellen um Einschlüsse oder Risse herum so, dass in der Nähe derselben die meist schwache Doppelbrechung am stärksten ist und von hier aus nach der umgebenden Krystallmasse allmählich abnimmt. Im regelmässigsten Falle beobachtet man bei gekreuzten Nicols um den Einschluss herum ein schwarzes Kreuz zwischen vier hellen Sectoren, das bei dem Drehen des Krystalls seine Lage ziemlich unverändert beibehält, ein Zeichen, dass die Dichteänderungen, deren Ausdruck die Doppelbrechung ist, gleichmässig um den Einschluss herum stattgefunden haben. Die grösste optische Elasticitätsaxe fällt immer in die Richtung des Radius. Diese Erscheinungen trifft man im Innern der Krystalle, oft aber auch an der Oberfläche um einen kleinen Riss herum, der offenbar von einer mechanischen Verletzung herrührt. Die doppelbrechenden Bezirke sind in diesem Fall immer sehr klein.

Die Natur der Einschlüsse ist kaum bekannt, E. Cohen vermuthet, dass die undurchsichtigen in vielen Fällen Eisenglanz oder Titaneisen seien (10).

Einen Diamant, in welchem ein anderer eingeschlossen war, hat A. Schrauf als »optisch einaxigen« Diamant beschrieben (9). Es ging in diesem von dem eingewachsenen ein schwarzes Kreuz aus, welches sein Centrum in dem eingeschlossenen Krystall hatte. Dies ist aber offenbar eine ganz andere Erscheinung als das Interferenzkreuz, welches optisch einaxige Krystalle im convergenten Licht geben, da es ja an den Ort, den Einschluss, gebunden ist und von diesem ausgeht. A. Schrauf erblickt denn auch die Ursache der »optischen Einaxigkeit« in einer vom Centrum ausgehenden Spannung.

In den meisten Fällen ist die Doppelbrechung um die Einschlüsse und Risse herum keine so regelmässige, es tritt kein schwarzes Kreuz auf, sondern unregelmässig gekrümmte, bei dem Drehen des Krystalls ihre Lage verändernde schwarze Banden verlaufen von dem Einschluss aus in die Masse des Krystalls. Sehr oft zeigen die Krystalle Doppelbrechung um die Einschlüsse und Risse herum, und unabhängig hiervon noch unregelmässige Doppelbrechung in ihrer übrigen Masse.

Die Doppelbrechung in allen diesen Krystallen ist meist schwach, die auftretenden Interferenzfarben sind Blaugrau bis Gelb der I. Ordnung, selten höher.

In Gegensatz hierzu stehen andere Krystalle, welche sehr lebhaft auf das polarisirte Licht einwirken und deren Doppelbrechung nicht von Einschlüssen oder Rissen ausgeht, sondern unabhängig hiervon ist.

Die von mir untersuchten Krystalle haben eine rauchgraue Farbe, sind durchsichtig und oft nur wenig rissig und haben einen so eigenthümlichen dunklen Glanz, dass sie von den andern bei einiger Übung leicht zu unterscheiden sind.

»Man erhält im polarisirten Licht genau die Erscheinung der Aggregatpolarisation mit so lebhaften Interferenzfarben, wie sie ein Aggregat von Quarzkörnern liefern würde«, sagt Cohen (15) sehr zutreffend von einem solchen Krystall. Sie sind in allen Lagen bunt und zeigen Interferenzfarben bis zum Grün der II. Ordnung.

Sehr interessant und wichtig ist, was E. Cohen an einer andern Stelle (10) über diese Steine mittheilt:

»Es ist eine allen Diamantgräbern und -händlern wohlbekannte Erscheinung, dass gewisse Diamanten sehr häufig fehlerfrei den Gruben entnommen werden, aber nach kürzerer oder längerer Zeit Sprünge erhalten oder vollständig in kleine Bruchstücke zerfallen. Es sind vorzugsweise solche Diamanten, die sehr vollkommen ausgebildet sind, octaëdrischen Typus, sehr glatte und glänzende Flächen besitzen (glassy stones) und entweder einen sehr schwach gelblichen Stich (Cape white oder bycoloured) oder eine rauchgraue Farbe zeigen (smoky diamonds). Nicht selten ist die rauchgraue Farbe nur an den Ecken intensiv, verschwindet aber nach dem Centrum zu sehr bald (diamonds with smoky corners), und dann gehen die Sprünge von den Ecken aus. Lichtgelbe Diamanten (offcoloured oder light yellow) und solche ersten Wassers oder mit einer entschiedenen Farbe (diamonds with decided colour) springen nicht, soweit mir bekannt ist.«

E. Cohen vergleicht das Verhalten dieser Diamanten mit dem der bekannten schnell gekühlten Glasthränen und glaubt, dass ebenso wie hier starke Spannung die Ursache des Zerspringens sei. Ob die Spannung auf eine Temperaturänderung zurückzuführen sei, hält er für möglich und vermuthet, dass etwa mikroskopische Einschlüsse die Ursache sein könnten, vermochte dies aber nicht zu bestätigen.

Verhalten des Diamant gegen Druck und Erwärmen.

Diamant wird durch Druck sehr leicht doppelbrechend. In einem würfeligen Krystall, den ich zu diesem Versuch benutzte und senkrecht zu den Würfelflächen presste, trat Doppelbrechung auf, und schon bei geringem Druck stiegen die Interferenzfarben bis zum Blau der II. Ordnung. Hierbei stellt sich die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung, wie die Prüfung mit dem Gypsblättchen leicht ergiebt. Octaëdrische Spaltblättchen verhalten sich ebenso. Nach Aufhören des Drucks verschwindet die Doppelbrechung.

Versuche, in einfachbrechenden Krystallen durch schnelle Kühlung Doppelbrechung hervorzurufen, gaben ein negatives Resultat. Ich habe Spaltblättchen bis zum Glühen erhitzt und in Öl schnell gekühlt, konnte aber keine Spur von Doppelbrechung in den gekühlten Blättchen nachweisen.

Durch Erhitzen wird die Doppelbrechung nach E. Mallard (16) nicht geändert.

Alle Forscher, welche bisher die Doppelbrechung des Diamant zu erklären versucht haben, glauben als Ursache derselben innere Spannungen annehmen zu dürfen mit Ausnahme von E. Mallard, welcher sich den Diamant aus Molekülschichten niederer Symmetrie aufgebaut denkt. Er äusserte sich hierüber in der Discussion über die Arbeit von Jannettaz (13).

Jannettaz hatte die Doppelbrechung des Diamant durch die Annahme von Spannungen erklärt, indem er darauf hinwies, dass in der Mitte der doppelbrechenden Region fast immer ein fremder Körper liege, welcher wegen des ungleichen Ausdehnungsvermögens einen Druck auf die umgebende Masse ausüben müsse.

»Pour M. Mallard cette observation ne laisse guère douter que les phénomènes optiques du diamant ne soient dus, comme ceux de la boracite, à la biréfringence d'un réseau non cubique.« (14.)

Schon Jannettaz entgegnete hierauf an derselben Stelle:

»La forme variable des bandes noires que montrent beaucoup d'octaèdres, et les inflexions de ces bandes, quand on tourne les cristaux entre les deux Nicols, font involontairement penser l'observateur aux phénomènes optiques produits par des pressions intérieures ou par la trempe, bien plutôt qu'à une essence anisotrope de la matière.«

Jannettaz tritt also entschieden für die Annahme von Spannungen ein, und wir kennen in der That keine Beobachtung, welche mit dieser Annahme in Widerspruch stünde; wir können vielmehr alle am Diamant auftretenden Erscheinungen in andern Substanzen hervorrufen, indem wir sie durch Druck oder schnelle Kühlung in einen Spannungszustand versetzen.

Die regelmässigen Polarisationserscheinungen der würfeligen Krystalle können wir in würfeligen Platten von Steinsalz, Sylvin und Glas durch schnelle Kühlung hervorrufen, die unregelmässigen Erscheinungen beobachtet man in gekühlten Gläsern von unregelmässiger Form, die ohne Vorsichtsmassregeln abgeschreckt sind; sie treten auch in eingetrockneten Gelatineplatten auf. Doppelbrechung um Einschlüsse entsteht bei Bleinitrat, wenn dasselbe vorübergehend höherer Temperatur ausgesetzt wird. In allen diesen Fällen beruht die entstandene Doppelbrechung auf inneren Spannungen.

Wir stehen daher nicht an, die Doppelbrechung des Diamant als Spannungsdoppelbrechung zu erklären und befinden uns hierbei in Übereinstimmung mit allen andern Forschern mit Ausnahme von E. Mallard.

Wir haben nun noch die Frage zu beantworten, wodurch wohl die Spannungen im Diamant entstanden sein können?

Brewster, welcher zuerst hierüber Vermuthungen geäussert hat, glaubte, der Diamant sei früher weich gewesen. Er hatte beobachtet (5), dass der Diamant um Luftbläschen herum vier helle Sectoren, durchschnitten von einem schwarzen Kreuze zeige und konnte mit einem Gypsblättchen den Charakter als negativ feststellen (6). Hieraus schliesst er mit Recht, dass die Doppelbrechung durch eine von den Höhlungen aus wirkende Compressionskraft erzeugt sei. Solche Compressionen, meint er nun, fänden sich nicht in den auf feurigem Wege ent-

standenen Mineralien, und er schliesst, die Weichheit, die der Diamant unzweifelhaft ehemals besessen, sei die eines halb eingetrockneten Gummis gewesen.

Diese Voraussetzung ist indessen nicht stichhaltig, da auch auf feurigem Wege entstandene Mineralien, wie Leucit, um Einschlüsse herum ganz ebensolche Erscheinungen zeigen. Aber auch Krystalle, welche weder auf feurigem Wege entstanden, noch früher weich gewesen sind, können um Einschlüsse herum Doppelbrechung zeigen; wir haben dies bei Bleinitrat gesehen. Eine vorübergehende Temperaturerhöhung — Druckänderung würde voraussichtlich ebenso wirken — genügt, um die Krystallmasse rings um die Einschlüsse doppelbrechend zu machen. Es ist daher nicht nothwendig anzunehmen, die Masse des Diamant sei früher weich gewesen. Es ist ebenso gut möglich, dass der Diamant unter Druck sich gebildet hat und durch den Druck doppelbrechend geworden ist.

Dass Wirkungen des Drucks und nicht der Temperatur hier die Hauptrolle spielen, ergiebt sich aus dem Charakter der Doppelbrechung und dem Verhalten der Krystalle gegen mechanischen Druck. Denn hierbei stellt sich die grösste optische Elasticitätsaxe in die Richtung des Drucks und würde etwa bei einer von aussen gepressten Diamantkugel in die Richtung des Radius fallen. Dieselbe Lage hat die grösste optische Elasticitätsaxe in den doppelbrechenden Diamanten, sie verhalten sich wie von aussen, bezw. bei Einschlüssen wie von diesen aus gepresst.

Wäre die Doppelbrechung durch schnelle Kühlung entstanden, so müsste sie den umgekehrten Charakter haben; es müsste die kleinste optische Elasticitätsaxe die Lage haben, welche jetzt die grösste Axe hat.

Ob die Druckkräfte, welche die Spannungen und die Doppelbrechung erzeugt haben, von dem Druck des Gebirges herrühren, oder etwa von einer Contraction der Krystallmasse, muss dahin gestellt bleiben. Will man das erstere gelten lassen, so würde man etwa zu folgender Anschauung gelangen:

Die Diamanten sind unter unbekannten Bedingungen, aber wohl sicher im Innern der Erde und darum unter Druck entstanden und doppelbrechend geworden.

Wie sie an die Erdoberfläche gelangt sind, ist für die meisten Gegenden nicht bekannt; in Südafrika wahrscheinlich durch Eruption. Hierbei wurde der Druck plötzlich aufgehoben und viele sind schon während der Eruption zersprungen[1]). Viele andere zerspringen erst, wenn sie aus der Erde herausgeholt werden, oder einige Zeit nachher, ohne dass irgend eine mechanische Verletzung vorausgegangen ist. In andern ist der Spannungszustand nicht so stark, dass die Form zersprengt würde, sie scheinen aber doch durch ihr Verhalten — abgesehen von dem optischen — den Spannungszustand zu verrathen. Nach einer Mittheilung von H. Schröder[2]) nämlich bekommen viele Steine erst durch längeres Liegen an der Luft ihre volle Härte, was

[1]) In den südafrikanischen Diamantgruben werden oft Splitter von Diamanten gefunden.

[2]) Zeitschr. für Instrumentenkunde. 1887. p. 263.

wohl kaum anders als durch allmähliches Verschwinden der durch den Druck des überlastenden Gesteins hervorgerufenen inneren Spannungen erklärlich wird[1]).

In allen Fällen giebt sich die Spannung durch Doppelbrechung zu erkennen, welche am stärksten ist in den leicht zerspringenden Diamanten, am schwächsten in wasserhellen und gelben fehlerfreien Steinen.

Senarmontit.

Literatur.

1. A. Des Cloizeaux. P. A. 126. p. 410. 1865.
2. —— P. A. 129. p. 346. 1866.
3. —— Nouv. rech. p. 9. 1867.
4. E. Mallard. Anom. opt. p. 108. 1876.
5. A. Grosse-Bohle. Über das optische Verhalten des Senarmontits und der regulären arsenigen Säure. Diss. Leipzig-Lüdinghausen 1880. Ausführlicher Auszug in Z. Kr. V. p. 222—235. 1881.
6. E. Bertrand. De l'application du microscope à l'étude de la minéralogie. Bull. min. V. p. 14. 1881.
7. R. Prendel. Über den Senarmontit. T. M. M. XI. p. 7—15. 1889.

Die Krystalle des Senarmontit sind reguläre Octaëder, deren Oberfläche entweder rauh und matt, oder glänzend ist; im letzteren Falle ist sie bald vollkommen eben, bald nach den Kanten gestreift, bisweilen auch mit einer flachen Pyramide bedeckt, deren Kanten nach den Ecken zu laufen, so dass die Form nicht genau ein Octaëder, sondern ein dem Octaëder vicinales Pyramidenoctaëder darstellt.

Wegen der leichten Spaltbarkeit nach den Flächen des Octaëders sind die Präparate immer von Spaltrissen durchsetzt und in Folge der hieran eintretenden Totalreflexion an den rissigen Stellen trüb. Die geringe Härte (= 2—2½) ist ebenfalls der Anfertigung brauchbarer Präparate in hohem Grade hinderlich.

Das optische Verhalten des Senarmontit hat gewisse Ähnlichkeit mit dem des Boracit.

Schon Des Cloizeaux, welcher die ersten Beobachtungen über das anomale Verhalten des Senarmontit mitgetheilt hat, giebt an (1), dass nach dem Würfel geschnittene Platten im convergenten Licht ein Ringsystem zeigen wie Boracit, nur seien die Ringe weiter. Die betreffende optische Axe scheine, wie bei Boracit, fast rechtwinklig zu diesen Flächen auszutreten[2]). Ebenso wie im Boracit ist auch im Senarmontit der Winkel der optischen Axen, wie später Mallard und Bertrand gefunden haben, sehr annähernd oder genau 90°, und die Ebene der optischen Axen in der Regel senkrecht zu einer Granatoëderfläche.

---

[1]) Vergl. O. Lehmann, Molekularphysik. I. p. 393.
[2]) Die von Des Cloizeaux gegebene Erklärung der Anomalien des S. siehe oben p. 33.

Das specielle optische Verhalten ist nach den Beobachtungen der im Verzeichniss genannten Autoren und den meinigen in kurzem wie folgt:

Spaltblättchen nach dem Octaëder zeigen im Falle der vollkommensten Ausbildung Feldertheilung nach den drei Ecken, in seltenen Fällen auch noch eine Andeutung von Feldertheilung nach den Seiten. Ähnlich wie bei Boracit greifen auch hier an der Grenze der Felder verschieden orientirte Theilchen über und in einander, so dass nur in sehr dünnen Blättchen die Grenzen scharf erscheinen. Auch ist die Ausdehnung der Felder regellos, bald sind sie gleich gross und berühren sich in einem Punkt in der Mitte der Fläche, bald herrschen zwei vor, oder es wird die ganze Fläche nur von gleich orientirten Theilchen eingenommen.

In der Art der Feldertheilung zeigt sich ein enger Zusammenhang mit der Streifung auf der Oberfläche der Krystalle; da, wo die zwei verschiedenen Kanten parallelen Streifen auf der Fläche zusammenstossen, verläuft auch immer die Grenze der optisch differenten Felder, und wo verschieden gerichtete Felder in einander greifen, sind auch die Theile optisch verschieden, in den gleich gestreiften Partien immer gleich orientirt (5) (vergl. Fig. 55, Taf. III).

Die Auslöschung erfolgt in jedem Feld parallel und senkrecht zu der Randkante, bisweilen auch etwas schief hierzu; in jedem Feld ist die grösste optische Elasticitätsaxe normal oder ein wenig schief zur Randkante.

Platten nach dem Würfel zeigen im polarisirten Licht Feldertheilung nach den vier Ecken, wozu bisweilen noch Feldertheilung nach den Seiten tritt, so dass eine Platte in vier, sechs, bei vollkommener Ausbildung in acht Felder zerfällt. Man unterscheidet wieder wie bei Boracit solche Theile, welche nur wenig auf das polarisirte Licht zu wirken scheinen und in keiner Lage vollständig auslöschen, und andere, welche in lebhaften Farben aufleuchten und vollkommen auslöschen. Die ersteren liegen besonders an den Ecken, die andern an den Kanten. Das Maximum der Auslöschung tritt in der Normalstellung der Platte ein.

Die Untersuchung im convergenten Licht ergiebt, dass die Theile, welche im parallelen Licht in allen Lagen ziemlich gleichmässig grau bleiben, annähernd senkrecht zu einer optischen Axe sind. Befindet sich die Platte in der Diagonalstellung, so stellen sich die austretenden Barren in die Richtung der Diagonalen, wie die Figur 56 andeutet. Da die Kanten Durchschnitte mit Octaëderflächen sind, so würden die Barren, auf die Durchschnittskanten mit Würfel- und Granatoëderflächen bezogen, zu diesen normal stehen, würden also bei Senarmontit dieselbe Lage haben wie bei Boracit. Dass die Axen stark zur Würfelfläche geneigt seien, wie R. Prendel angiebt, habe ich nicht gefunden, auch heben Des Cloizeaux, Mallard und Bertrand übereinstimmend hervor, dass sie senkrecht oder wenigstens sehr annähernd senkrecht zur Würfelfläche austreten.

Platten nach dem Granatoëder sollen nach Grosse-Bohle durch eine Trennungsnaht in zwei gleiche Theile getheilt sein, was andere nicht be-

stätigen und auch ich nicht beobachten konnte. Der grössere Theil der nahe der Oberfläche entnommenen Platte (Fig. 57) löscht parallel und senkrecht zur langen Kante, also parallel der langen Diagonale der Granatoëderfläche aus, während kleinere, am Rand gelegene Partien unter 45° hiergegen auslöschen; wir haben wieder dieselben Verhältnisse wie bei Boracit.

Nach Mallard sollen die Schliffe nach den Granatoëderflächen in vier grössere und vier kleinere Sectoren zerfallen und die ersteren unter 45° gegen die Diagonalen, die letzteren unter 12° gegen die kurze Diagonale der Granatoëderfläche auslöschen; Grosse-Bohle konnte diese Angaben nicht bestätigen. Es ist möglich, dass an den von Mallard untersuchten Krystallen Vicinalflächen besonders stark entwickelt waren und jene Unregelmässigkeiten bewirkten.

Im convergenten Licht konnte ich keine scharfen Erscheinungen beobachten, da in dickeren Schliffen vielfach Überlagerungen vorkommen und die Erscheinungen trüben, in dünneren aber wegen der schwachen Doppelbrechung und der vielen Risse die Hyperbeln ganz verschwommen sind. Jedoch lässt sich aus der nach der langen Diagonale erfolgenden Auslöschung der Granatoëderschliffe und dem Verhalten der nach dem Würfel geschnittenen Platten im convergenten Licht der Schluss ziehen, dass die Ebene der optischen Axen in die Richtung der langen Diagonale der Granatoëderfläche fällt und zu dieser Fläche normal ist. Die optische Orientirung im Senarmontit würde also dieselbe sein wie im Boracit, wenn man von den mit der Streifung in Zusammenhang stehenden Unregelmässigkeiten absieht. Wir würden daher auch das optische Verhalten des Senarmontit als der rhombischen Symmetrie entsprechend bezeichnen können.

Hiermit stehen die Annahmen von Mallard und Grosse-Bohle in Widerspruch. Mallard schloss aus dem Verhalten der Granatoëderschliffe, der Senarmontit bestünde aus triklinen Individuen, Grosse-Bohle kam zu dem Schluss, er sei monoklin. Die Mallard'sche Annahme würde nur für die Fälle gelten, wo die Schliffe jene Feldertheilung und abweichende Auslöschung zeigen, die jedenfalls selten sind und, wie wir vermuthen, von dem Auftreten der Vicinalflächen abhängen. Grosse-Bohle ist nur durch den Versuch, die Senarmontitoctaëder als Zwillinge zu erklären, zu seiner Annahme geführt worden. Bei Annahme des rhombischen Systems müsste die Granatoëderfläche zur Pinakoidfläche werden, die zu ihr senkrechte Würfelfläche müsste Zwillingsebene, gleichzeitig aber auch basisches Pinakoid sein, was im rhombischen System nicht möglich ist. Allein aus diesem Grund wurde Grosse-Bohle zur Annahme des monoklinen Systems geführt. Wäre er berechtigt, müsste auch der Boracit als monoklin bezeichnet werden. Da wir aber überhaupt diese Gebilde nicht als Zwillingsverwachsungen zu deuten versuchen, so fällt dieser Grund für uns weg, und wir können das optische Verhalten der Senarmontit- ebenso wie das der Boracitkrystalle als rhombischer Symmetrie entsprechend bezeichnen. Die optische Orientirung bei beiden ist analog.

Ob die Substanz des Senarmontit nun aber wirklich als rhombisch zu betrachten ist, ob die Doppelbrechung nicht vielmehr secundär und anomal, und die Substanz wie Form regulär ist, ist eine andere Frage, die wir im Folgenden zu beantworten versuchen werden.

Verhalten des Senarmontit in der Wärme.

Die Beobachtungen sind erschwert, weil die Substanz bei höherer Temperatur sich verflüchtigt und Änderungen in dem optischen Verhalten erst kurz vor dem Verflüchtigen eintreten.

Es ist nothwendig, dass die zu untersuchenden Blättchen nicht direct mit der Flamme in Berührung kommen, da sie sich sonst sofort trüben und verflüchtigen. Um dies zu vermeiden, habe ich sie zwischen die federnden Lamellen eines länglich geschnittenen Glimmerblättchens eingeschoben, und dies im horizontalen Erhitzungsmikroskop so gerichtet, dass es selbst dunkel war, während der Senarmontit hell polarisirte.

Wenn man nun das Präparat vorsichtig erhitzt, so bemerkt man, dass es plötzlich über die ganze Ausdehnung hin einfachbrechend wird, gleich darauf aber auch zu verdampfen beginnt. In der Art, wie die Änderung eintritt, glaubt man eine vollkommene Analogie mit Boracit und Ammoniaksalpeter zu sehen und wartet bei dem Abkühlen unwillkürlich auf die Rückwandlung; diese tritt aber nicht ein, oder nur in sehr unvollkommenem Grade, denn die Platten, welche vorher das Blau und Grün der II. Ordnung zeigten, erscheinen nach dem Erwärmen und vollkommen abgekühlt nur in dem Hellblaugrau der I. Ordnung. Diese schwächere Doppelbrechung rührt nicht etwa daher, dass das Blättchen durch Verdampfen dünner geworden ist, sondern stellt sich auch dann ein, wenn noch keine Verdampfung stattgefunden hat.

Wenn man ein Spaltblättchen von Senarmontit zwischen zwei Deckgläschen bis zum beginnenden Schmelzen erhitzt, und, ehe das Blättchen ganz geschmolzen ist, schnell von der Flamme wegnimmt, so bilden sich rings um das einfachbrechend gewordene Spaltblättchen, dessen Umrisse oft noch scharf und regelmässig sind, breite, lebhaft polarisirende Lamellen. Sie sind am Rande ausgefranzt, etwa wie Schuppen von Schmetterlingsflügeln, im auffallenden Licht trüb und grau, im durchfallenden hellbraun und sind von Spaltrissen durchzogen, zu welchen parallel die Blättchen auslöschen. Um sie herum befindet sich farblose, einfachbrechende amorphe Masse. Im convergenten Licht geben viele Blättchen ein mehr oder weniger excentrisch liegendes Axenbild, der Axenwinkel ist klein, die Dispersion sehr stark, $v > \varrho$, für Roth ist der Axenwinkel fast Null; die Ebene der optischen Axen ist den Spaltrissen parallel. In diesen Blättchen haben wir die rhombische Modification des Antimonoxyd vor uns, welche in der Natur durch den Valentinit vertreten ist: die Blätterbrüche des Valentinit sind parallel $\infty P(110)$ und $\infty \breve{P} \infty (010)$, die Spaltrisse in den Blättchen also parallel der Verticalaxe. Die erste Mittellinie ist nach Des Cloizeaux (Nouv. rech. p. 58) immer die kurze

Axe a, die Ebene der optischen Axen entweder die Basis oder eine hierzu senkrechte Ebene, das letztere würde für unsern Fall zutreffen. Die Dispersion der optischen Axen ist immer sehr stark, die Ebene der optischen Axen für Roth und Blau oft gekreuzt und entweder $\varrho > v$ oder $v > \varrho$; im letzteren Fall liegt die Ebene der optischen Axen für Blau in einer zur Basis senkrechten Ebene; in unseren Blättchen ist $v > \varrho$ und die Ebene der optischen Axen für Blau und Roth ist dieselbe und senkrecht zur Basis. Zwischen dem natürlichen Valentinit und den aus dem Schmelzfluss erstarrten Blättchen herrscht demnach genügende Übereinstimmung.

Ebenso wie diese verhalten sich aus geschmolzenem Valentinit krystallisirte Blättchen.

Aus geschmolzenem Antimonoxyd, einerlei ob es aus Senarmontit oder Valentinit stammt, scheidet sich (neben amorphem Antimonoxyd) die rhombische Modification aus.

Durch die Eigenschaft des Senarmontit, bei höherer Temperatur zu verdampfen, wurde ich weiter dazu geführt, auch die Sublimationsproducte zu untersuchen. Zu diesem Zweck erhitzte ich kleine Stückchen, etwa von der Grösse eines Stecknadelknopfs, auf einem Objectträger bis zum Erweichen des Glases, nachdem ich sie mit einem Deckgläschen bedeckt hatte. Die Substanz verflüchtigt sich und schlägt sich an dem Deckgläschen wieder nieder. Die entstehenden Sublimationsproducte sind Octaëder und rhombische Tafeln.

Die Octaëder sind bis über 0,1 mm gross und vollkommen klar, haben scharfe Kanten und ebene, stark glänzende Flächen; die meisten sind durchaus einfachbrechend, nicht einmal mit einem Gypsblättchen können Spuren von Doppelbrechung nachgewiesen werden. Einige sind am Rande sehr schwach doppelbrechend, offenbar durch Spannung in Folge der schnellen Abkühlung. Wir haben in diesen Octaëdern die einfachbrechende, also normal reguläre Modification des Antimonoxyd vor uns.

Die rhombischen Kryställchen sind bis 0,5 mm lang, von regelmässiger länglich sechsseitiger Form oder an beiden Enden lanzenförmig zugespitzt; sie wirken lebhaft auf das polarisirte Licht und löschen genau parallel und senkrecht zur Längsrichtung aus. Diese Kryställchen entsprechen dem natürlichen Valentinit, es ist die rhombische Modification des Antimonoxyd.

Der relativen Menge nach überwiegen die regulären Krystalle gegenüber den rhombischen. Zuerst entstehen durch Sublimation fast nur reguläre Krystalle, erst wenn man länger und stärker erhitzt, entstehen mehr und mehr rhombische Krystalle, namentlich nach dem Rande hin.

Aus Senarmontit bildet sich demnach durch Sublimation reguläres und rhombisches Antimonoxyd in demselben Präparat neben einander.

Ebenso verhält sich der rhombische Valentinit. Wenn ich diesen in der gleichen Weise behandle, so bilden sich zuerst und in grosser Menge rhombische Krystalle, bei längerem Erhitzen aber auch viele und schöne reguläre Octaëder, die nicht die geringste Spur von Doppelbrechung zeigen

Wie vorher die rhombischen, so liegen jetzt die regulären Krystalle von der Probe entfernt nach dem Rande des Deckgläschens hin, ohne aber zwischen den rhombischen direct über der Probe ganz zu fehlen.

Da in diesen Präparaten rhombische und reguläre Krystalle derselben Substanz in grosser Menge neben einander liegen, so könnte man wohl erwarten, hierunter auch solche Gebilde zu finden, welche die Mallard'sche Annahme bestätigen, dass die regulären einfachbrechenden Krystalle aus zwillingsartig verwachsenen Lamellen niederer Symmetrie bestehen. Speciell bei Antimonoxyd sollen rhombische und reguläre Krystalle aus triklinen Individuen aufgebaut sein.

Trikline Lamellen beobachtet man nun niemals, dagegen bilden die rhombischen Krystalle Durchwachsungen von zwei oder drei Individuen, aber trotzdem ich besonders darauf achtete, habe ich niemals ein Anzeichen dafür gefunden, dass die regulären Krystalle aus solchen Durchwachsungen hervorgehen. Allerdings durchspiessen oft die rhombischen Krystalle die regulären oder ragen in diese hinein, aber man kann ihren Verlauf im Innern des Krystalls dann ebenso gut verfolgen wie ausserhalb, meist aber liegen die regulären Krystalle scharf begrenzt und klar neben und zwischen den rhombischen und beide verhalten sich wie gleichzeitig gebildete Krystalle zweier verschiedener Substanzen.

Aus diesen Versuchen geht mit Sicherheit hervor, dass die Substanz des Antimonoxyd dimorph ist, einfachbrechend regulär und doppelbrechend rhombisch (ausserdem amorph). Für die Mallard'sche Erklärung der Dimorphie giebt die Beobachtung nicht den geringsten Anhaltspunkt.

Wir haben nun noch die schwierige Frage zu beantworten: wodurch ist die Doppelbrechung im Senarmontit entstanden?

Aus dem Verhalten des Senarmontit bei höherer Temperatur kann man nicht schliessen, dass die optischen Anomalien, wie bei Boracit, mit Dimorphie der Substanz in Zusammenhang stehen, da nach dem Abkühlen der frühere Zustand nicht wieder eintritt. In dieser Beziehung gleicht sein Verhalten dem der Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat, welche, wie wir sehen werden, durch Erwärmen ihre Doppelbrechung ebenfalls fast ganz verlieren und nach dem Abkühlen so bleiben. Bei Senarmontit rührt jedoch die Doppelbrechung nicht, wie dort, von isomorpher Beimischung her, da er kaum Spuren von Arsen enthält. Auch ist das optische Verhalten anders als das der durch isomorphe Beimischung doppelbrechenden regulären Krystalle, insofern als die optische Structur des Senarmontit nicht in der Weise von der äusseren Form abhängt wie bei diesen.

Sehen wir indess einmal von dem Verhalten des Senarmontit in der Wärme ab und stellen wir uns auf den Standpunkt von R. Prendel, welcher Veränderungen bei dem Erwärmen nicht hat beobachten können, so fragen wir: ist es gerechtfertigt, die Substanz des Senarmontit innerhalb der regulären Form als rhombisch zu betrachten? Prendel wird zu dieser Annahme einzig durch das optische Verhalten des Senarmontit geführt und

betrachtet hiernach jedes Senarmontitoctaëder als einen Durchkreuzungszwilling von sechs rhombischen Individuen. Das optische Verhalten allein aber ist in solchen Fällen nicht beweisend, man muss immer daran denken, dass auch factisch reguläre Krystalle doppelbrechend sein können; man muss verlangen, dass noch weitere Gründe, welche für die Annahme des rhombischen Systems sprechen, angeführt werden.

Für diese Annahme könnte die Analogie der optischen Structur (Lage der optischen Axen etc.) mit Boracit geltend gemacht werden und als eine weitere Stütze könnte eine Beobachtung von C. Hintze[1]) angeführt werden, wonach eine Umwandlung von Senarmontit in Valentinit vorzukommen scheint. Derselbe fand auf der Oberfläche und in dem Innern von Senarmontitkrystallen zarte Aggregate von radialfaseriger Structur, deren abgelöste Fasern gerade auslöschten und als Antimonoxyd chemisch zu bestimmen waren, und betrachtet daher die Krystalle als Paramorphosen von Valentinit nach Senarmontit. Für den gewöhnlichen Senarmontit würden wir eine molekulare Umwandlung anzunehmen haben, da von faseriger Structur nichts zu bemerken ist.

Wenn man nun die Möglichkeit zugeben wollte, dass die Substanz innerhalb der Senarmontitform rhombisch ist, so müsste man auch eine Antwort auf die Frage geben, welche Beziehungen bestehen zwischen ihr und der unbezweifelt rhombischen Modification des Antimonoxyd, dem natürlichen Valentinit?

Prendel äussert sich über diese Beziehung mit keinem Wort, aber es ist doch nothwendig, dieselbe zu erörtern, da es nicht selbstverständlich ist, weder, dass es zwei rhombische Modificationen von Antimonoxyd giebt, noch dass die Substanz innerhalb der Senarmontitform mit dem Valentinit identisch ist.

Nach den Ausführungen von R. Prendel müsste man das erstere glauben, denn die Eigenschaften, welche einem der sechs in einem Pseudooctaëder enthaltenen Individuen zukommen würden, sind nicht die des Valentinit; es genügt, um diese Behauptung zu belegen, auf die Spaltbarkeit hinzuweisen. Je zwei Spaltflächen des Senarmontit, welche sich unter $109^\circ 28' 16''$ schneiden, nimmt Prendel als die Flächen eines Brachydoma an; diese prismatische Spaltbarkeit, die einzige am Senarmontit zu beobachtende, müsste der prismatischen Spaltbarkeit des Valentinit entsprechen, was aber nicht sein kann, da der Spaltwinkel bei Valentinit ($\infty P[110] : \infty P[1\bar{1}0]$) $137^\circ 15'$ beträgt. Die Annahme aber, dass es zwei rhombische Modificationen des Antimonoxyd gebe, von denen nur die eine rhombische, die andere reguläre Form habe, kann nicht als begründet angesehen werden.

Sieht man davon ab, ein »einfaches Senarmontit-Individuum« zu construiren und als Vergleichsobject zu wählen, und vergleicht die Eigenschaften der ganzen Senarmontitkrystalle mit denen des Valentinit, so ergiebt sich

---

[1]) Pseudo- und paramorphe Senarmontitkrystalle. Z. Kr. VI. p. 410, 1882.

jedenfalls dies, dass nicht dieselbe Modification von Antimonoxyd in beiden vorliegen kann.

Denn wäre die reguläre Form des Senarmontit von dem rhombischen Valentinit erfüllt, so würde es unerklärt bleiben, dass bei Senarmontit der Winkel der optischen Axen gross, bei Valentinit sehr klein ist. Überhaupt finde ich keine Beziehungen zwischen den optischen Eigenschaften des Senarmontit und denen des Valentinit.

Unerklärt bliebe ferner die Verschiedenheit des specifischen Gewichtes, welches für Senarmontit gleich 5,22—5,30, für Valentinit gleich 5,566 angegeben wird. Auch die Spaltbarkeit des Senarmontit würde sich nicht auf die des Valentinit beziehen lassen.

Alle diese Thatsachen, nicht zum wenigsten das Verhalten des Senarmontit in der Wärme, lassen die Annahme einer in der Senarmontitform enthaltenen rhombischen Modification des Antimonoxyd als sehr unwahrscheinlich erscheinen, führen vielmehr zu der Annahme, dass die Krystalle des Senarmontit regulär sind, sich aber in einem anomalen Zustand befinden, den wir einstweilen als Spannungszustand bezeichnen.

Die durch Sublimation gebildeten octaëdrischen Kryställchen beweisen durch ihre einfache Lichtbrechung, dass das Antimonoxyd die Fähigkeit hat, in jeder Beziehung normal reguläre Krystalle zu bilden. Wir schliessen hieraus, dass die Doppelbrechung der natürlichen Senarmontitkrystalle ihnen nicht eigenthümlich, sondern während der Bildung der Krystalle oder später in denselben entstanden ist. Da nun paramorphe Umlagerung nach unserer Ansicht nicht anzunehmen, und isomorphe Beimischung als Ursache der Doppelbrechung ausgeschlossen ist, so bleibt nach unserem jetzigen Standpunkt nur die Annahme übrig, dass die Doppelbrechung durch Druck, Contraction oder dergleichen entstanden sei, was um so wahrscheinlicher ist, als die Substanz gegen Druck sehr empfindlich ist. Wenn man mit einer Nadelspitze auf ein Blättchen Senarmontit einen Druck ausübt, so wird die Doppelbrechung um die Druckstelle herum merklich und dauernd geändert, wie man leicht an der Änderung der Interferenzfarben sieht, wenn man den Versuch unter dem Mikroskop ausführt. Wählt man hierzu ein Blättchen, das durch Erwärmen fast einfachbrechend geworden ist, so wird die Doppelbrechung um die Druckstelle herum wieder stärker und in jedem Fall ist die durch Druck hervorgerufene Änderung in der Doppelbrechung dauernd.

Es steht demnach von dieser Seite der Annahme von Spannungen nichts im Wege, ob aber wirklich Druckkräfte die Spannungen hervorgebracht haben, wissen wir nicht. Durch seine optische Structur, die Lage der optischen Axen, steht Senarmontit unter den durch innere Spannung doppelbrechenden regulären Krystallen einzig da, wenn nicht etwa Perowskit hierher gehört.

Arsenige Säure. As_2O_3.

Literatur.

1. F. Klocke. Über Doppelbrechung regulärer Krystalle. N. Jb. 1880, I. p. 82.
2. Grosse-Bohle. l. c. bei Senarmontit.
3. A. Des Cloizeaux. Note sur la forme clinorhombique et les caractères optiques de l'acide arsénieux prismatique. Bull. min. X. p. 303. 1887. C. r. 105. p. 96.

Die genannten Forscher haben Doppelbrechung in den regulären Krystallen der arsenigen Säure beobachtet.

F. Klocke sagt, dass durch Sublimation bei einem Hüttenprocess gebildete Octaëder stark aber unregelmässig doppelbrechend gewesen seien. Grosse-Bohle meint, die arsenige Säure scheine eine ähnliche, aber noch complicirtere innere Structur zu haben, wie der Sénarmontit; ihm entgegnet aber Des Cloizeaux, dass in der einfachbrechenden Krystallmasse wohl kleine, unregelmässig doppelbrechende Theile hervortreten, aber niemals dem Sénarmontit analoge Erscheinungen zu beobachten seien.

Ich habe aus Lösungen abgesetzte, in Hütten, Fabriken und von mir sublimirte Krystalle untersucht, aber niemals solche mit Doppelbrechung angetroffen.

Offenbar ist die von Jenen beobachtete Doppelbrechung unregelmässige Spannungsdoppelbrechung.

Beryll.

Literatur.

1. Babinet. P. A. 41. p. 126. 1837.
2. Salm-Horstmar. P. A. 84. p. 515. 1851.
3. A. Breithaupt. P. A. 121. p. 329. 1864.
4. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75. 1883. 1862.
5. A. Des Cloizeaux. Manuel I. p. 366. 1862. Nouv. rech. p. 12. P. A. 126. p. 411.
6. F. Pfaff. P. A. 124. p. 448. 1865.
7. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 239.
8. E. Mallard. Anom. opt. p. 148—150. 1876.
9. E. Bertrand. Cristaux d'émeraude de Muso. Bull. min. II. p. 31. 1879.
10. G. Grattarola. Eine neue Varietät des elbaner Berylls. Rivista scientifico-industriale. No. 10. Firenze 1880. Referat in Z. Kr. V. p. 503.
11. H. Bücking. Über den Einfluss eines messbaren Druckes auf doppeltbrechende Mineralien. Z. Kr. VII. p. 563. 1883.
12. C. Doelter. Erhitzungsversuche an Vesuvian, Apatit, Turmalin. N. Jb. 1884, II. p. 221.
13. F. J. Wiik. Mineralogische und petrographische Mittheilungen. Referat in Z. Kr. XII. p. 515. 1887.

Der Beryll zeigt häufig mehr oder weniger regelmässige optische Anomalien.

Babinet (1) und Salm-Horstmar (2) haben schon Zweiaxigkeit beobachtet, ebenso Des Cloizeaux (5). Madelung (4) fand Beryll von Elba,

Aduntschilon, aus Morbihan in Frankreich und von Brasilien deutlich zweiaxig. Die von Pfaff untersuchten Beryllkrystalle waren schalig gebaut, im Innern durch innere Flächen gestreift. Im convergenten Licht erwiesen sie sich in der Mitte als einaxig, nach dem Rande hin als stark zweiaxig; die Ebene der optischen Axen war an verschiedenen Stellen verschieden orientirt. Im parallelen Licht erschienen die Platten streifig, hier hell, dort dunkel.

Die Beobachtungen Mallard's (8) stimmen mit diesen im wesentlichen überein: dickere Platten parallel der Basis erscheinen im parallelen Licht wie marmorirt, in dünneren tritt, je dünner sie werden desto schärfer, Feldertheilung hervor, jedoch immer nur undeutlich, da die Doppelbrechung zu schwach und in Dünnschliffen gar nicht mehr zu beobachten ist (im parallelen Licht). Ein Krystall aus Sibirien zeigt in Platten senkrecht zur Axe ein Mittelfeld, umgeben von mehreren, dem hexagonalen Umriss parallel laufenden doppelbrechenden Streifen. Diese löschen je normal zur Randkante aus, während der mittlere Theil unregelmässige, verschwommene Feldertheilung zeigt und unvollkommen auslöscht. Eine Platte parallel der Axe zeigt verschiedenfarbige, der Hauptaxe genau parallel gehende Streifen, welche alle parallel zur Hauptaxe auslöschen. Im convergenten Licht erweisen sich die Platten senkrecht zur Axe als zweiaxig mit ziemlich grossem Axenwinkel. Manche Krystalle fand Mallard vollkommen einaxig, hält aber trotzdem den Beryll für rhombisch, denn die zweiaxigen Stellen »indiquent la nature orthorhombique du réseau, avec une forte tendance au mélange des réseaux orientés différement. Cette tendance est plus accentuée au centre du cristal que sur les bords«.

Die Smaragdkrystalle von Muso in Neu-Granada bestehen nach Bertrand (9) aus einem farblosen Kern und einer grünen Hülle, welche parallel zu den Seiten des hexagonalen Prisma gestreift ist. Im polarisirten Licht erweist sich der Kern als fast einaxig mit schwacher Öffnung des Kreuzes normal zu den Seiten des Primas. Die Hülle ist immer schwach zweiaxig, und die Ebene der optischen Axen normal zu den Seiten.

Der von Grattarola (10) untersuchte elbaner Beryll, der wegen unbedeutenden Abweichungen im Habitus etc. den überflüssigen Namen Rosterit bekommen hat, ist in derselben Weise anomal. Eine Platte parallel der Basis erscheint im polarisirten Licht in sechs Felder getheilt, deren Basis je eine Kante des Hexagons erster Stellung ist. Die Auslöschung erfolgt in jedem Fall parallel zur Randkante, oft auch schief (bis zu 7°) hierzu.

F. Wiik meint, dass die optischen Anomalien des Beryll »auf einer Dimorphie beruhen, vermöge welcher die bei höherer Temperatur gebildeten hexagonalen Krystalle beim Abnehmen der Temperatur in die rhombische Modification übergegangen wären. Das Beryllmolekül soll dreien Partialmolekülen von rhombischer Symmetrie entsprechen, welche bei einer gewissen höheren Temperatur einen Complex von einem höheren Symmetriegrade mit einander bilden« (13).

Das Verhalten des Beryll gegen Druck hat H. Bücking (11) untersucht. Die benutzten Platten zeigten nur an einzelnen Stellen ein normales Axenbild, an andern einen bis zu 10° betragenden Axenwinkel, oder — ebenfalls sehr häufig — ein ganz gestörtes Interferenzbild. Der Beryll ist optisch negativ und die Axenebene stellt sich in gepressten Platten senkrecht zur Druckrichtung. Zeigen die Platten schon vor dem Druck Zweiaxigkeit mit in die Druckrichtung fallender Axenebene, so nimmt bei wachsendem Druck der Axenwinkel ab, und zuletzt wird auch in ihnen die Ebene der optischen Axen normal zur Druckrichtung. Um Null herum bewirkt geringer Druck rasches Wachsen und Abnehmen des Axenwinkels, dauernde Veränderungen treten nicht ein.

Durch Erhitzen wird der Axenwinkel an den zweiaxigen Stellen sehr klein (12).

Die Beryllkrystalle, welche ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, waren sehr unregelmässig anomal. Platten senkrecht zur Axe erschienen im parallelen Licht wie marmorirt, indem in einer bestimmten Lage viele Flecken hell waren, andere dunkel; beim Drehen wurden jene dunkel, diese hell. Die Auslöschung irgend eines Theilchens war aber nie gleichmässig, sondern undulös; von irgend einem Punkt, der manchmal durch einen Riss, manchmal nicht besonders markirt war, zogen bei dem Drehen unregelmässig wellig gekrümmte schwarze Banden über dasselbe hin. Das Aussehen der Platte im parallelen Licht war etwa das eines Stück Glases, das durch Eintauchen in Wasser schnell und unregelmässig gekühlt ist. Im convergenten Licht öffnete sich das verschwommene schwarze Kreuz mehr oder weniger stark und statt der Kreise oder Lemniscaten sah man ganz unregelmässig deformirte Ringe. Nur an den wenigen Stellen, die im parallelen Licht ziemlich gleichmässig dunkel blieben oder einheitlich auslöschten, sah man ein regelmässigeres Interferenzbild, entweder einaxig oder schwach zweiaxig, im letzteren Falle war die Ebene der optischen Axen normal oder nahezu normal zur anliegenden Randkante.

Die optischen Anomalien des Beryll beruhen offenbar auf inneren Spannungen, deren Vorhandensein durch das Verhalten der Krystalle in derselben Weise wie bei Diamant zum Ausdruck kommt. Sehr interessante Mittheilungen hierüber hat Lewy[1]) gemacht:

Die in einem bituminösen Kalk vorkommenden Smaragdkrystalle von Muso in Neugranada finden sich oft in zwei oder drei Stücke zertrümmert in dem Ganggestein und lassen sich, herausgelöst, zu einem vollständigen Krystall zusammensetzen. Die frisch gewonnenen Krystalle zerspringen oft kurze Zeit nachdem sie aus ihrem Muttergestein herausgelöst sind, und thun dies sogar dann, wenn sie sofort in ein geschlossenes Gefäss gelegt und vor dem Einfluss der Sonnenstrahlen geschützt werden. Während nach den Berichten von Augenzeugen die frisch gewonnenen, noch feuchten Krystalle

1) Recherches sur la formation et la composition des Emeraudes. A. Chim. III. Sér. T. 53. p. 7. 1858; auch Schrauf. Edelsteinkunde. p. 135.

vollkommen klar und frei von Sprüngen sind, kommen im Handel nur sehr selten ganz fehlerfreie Stücke vor. Léwy meint, die Krystalle enthielten etwas Wasser oder eine andere Feuchtigkeit, durch deren schnelle Verdunstung sie gesprengt würden.

Die Beobachtungen Léwy's sind nicht ganz vereinzelt: Arzruni hat am uralischen Beryll beobachtet, dass derselbe, an das Tageslicht gebracht, bald in mehrere Stücke zersprang, aber erhalten werden konnte, wenn er nicht der Luft ausgesetzt, sondern zunächst längere Zeit in Wasser gelegt wurde (O. Lehmann, Molek.-Physik, I. p. 393).

Die Spannungen im Beryll entstehen wohl ohne Zweifel dadurch, dass die an der Oberfläche herrschenden Druck- und Temperaturverhältnisse andere sind, wie an der Stelle, wo er sich findet und wo er sich gebildet hat, und Zweiaxigkeit konnte um so leichter durch die Spannungen eintreten, als (nach Bücking) schon ein verhältnissmässig geringer Druck genügt, sie entstehen zu lassen. Da nun in gepressten Platten die optische Axenebene normal zur Druckrichtung sich einstellt, also etwa parallel den Prismenflächen wird, in natürlich zweiaxigen Platten aber normal zu den Prismenflächen ist, so verhalten sich die anomalen Krystalle nicht wie gepresst, sondern wie gespannt.

Diese Structur würde durch schnelle Kühlung hervorgerufen werden können, jedoch deutet das Vorkommen eher darauf hin, dass Druckkräfte mit im Spiel sind. Man kann sich etwa vorstellen, dass der Druck, unter dem die Krystalle allem Anschein nach sich gebildet haben, allseitig ziemlich gleich war, und die Structur der Krystalle für diesen Druck normal. Wird der Druck plötzlich aufgehoben, so dehnen sich die Krystalle von innen nach aussen aus[1]), sie werden rissig und zerspringen. Werden sie nach Aufhebung des Druckes durch besondere Vorsichtsmassregeln vor starken und plötzlich eintretenden Temperaturschwankungen bewahrt, so gleichen sich die Spannungen allmählich aus, sie führen nur selten noch zum Zerspringen, verrathen sich aber durch das anomale optische Verhalten der Krystalle.

Brucit.

Literatur.

1. M. Bauer. Über eine Methode, die Brechungscoefficienten einaxiger Krystalle zu bestimmen und über die Brechungscoefficienten des Brucits. N. Jb. II. B.-B. p. 64—65. 1883; aus Monatsber. d. kön. Akad. d. W. Berlin, 3. Nov. 1881.

2. C. Doelter. Erhitzungsversuche an Vesuvian, Apatit, Turmalin. N. Jb. 1884, II. p. 221.

3. H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. II. Aufl. p. 337. 1885.

1) Dass gepresste Krystalle sich so verhalten können, wenn der Druck plötzlich aufhört, zeigen die an Apatit angestellten Versuche. Obwohl in dem gepressten Apatit, wie man es wegen des negativen optischen Charakters nicht anders erwartet, die Ebene der optischen Axen senkrecht zur Druckrichtung sich stellt, stellt sie sich, wenn der Druck schnell aufgehoben wird, in die Druckrichtung (H. Bücking, Z. Kr. VII. p. 562).

M. Bauer giebt in der oben genannten Abhandlung eine kurze Beschreibung von den Anomalien des Brucit:

»Es war nöthig, eine grosse Anzahl von Stücken zu zerspalten, um ein einigermassen genügendes Plättchen zu erhalten, da der Brucit vielfach nicht durchsichtig oder ebenflächig genug ist, und da er namentlich ganz ausserordentlich stark durch innere Spannungen in seinen optischen Eigenschaften modificirt ist. Die allermeisten Plättchen, die mein Material lieferte, zeigten im polarisirten Licht bei gekreuzten Nicols keineswegs und bei keiner Stellung des Plättchens Dunkelheit, sondern ein bläuliches, mehr oder weniger regelmässiges Gitterwerk und im convergenten Licht nicht die regelmässige Interferenzfigur der einaxigen Krystalle mit den concentrischen Ringen und dem unveränderlichen schwarzen Kreuz, sondern es waren mehr oder weniger stark in die Länge gezogene, zuweilen sogar ganz unregelmässige Figuren, und das schwarze Kreuz trennte sich beim Drehen in zwei Hyperbeläste, deren Scheitel sich mehr oder weniger weit von einander entfernten. Diese fast bei allen Plättchen beobachteten Erscheinungen könnten vielleicht den Gedanken erwecken, dass die Substanz zweiaxig sei mit kleinem Axenwinkel. Aber der Zusammenhang jener Abweichungen vom Verhalten eines regelmässig gebildeten einaxigen Krystalls mit Pressungen und Spannungen wird durch das Verhalten im parallelen polarisirten Licht doch zu deutlich gezeigt, die scheinbaren Axenwinkel sind sogar an verschiedenen Stellen eines und desselben Plättchens zu sehr verschieden, und die scheinbar zweiaxigen Interferenzcurven im convergenten Licht oft so unregelmässig und von den Interferenzcurven wirklich zweiaxiger Krystalle verschieden, dass in Übereinstimmung mit allen bisherigen Angaben der einaxige Charakter des Brucits festzuhalten ist, um so mehr, als man auch ab und zu Plättchen erhält, die das Axenbild einaxiger Krystalle in genügender Regelmässigkeit zeigen.«

Ebenso ist H. Rosenbusch der Ansicht, dass innere Spannung die Ursache der unregelmässigen Zweiaxigkeit ist.

Durch Erwärmen wird nach den Mittheilungen von C. Dölter (2) eine Platte, die einen scheinbaren Axenwinkel von $4\frac{1}{2}°$ zeigte, nahezu einaxig.

Es ist kaum einem Zweifel unterworfen, dass die Anomalien des Brucits auf inneren Spannungen beruhen und diese durch Druck hervorgerufen sind, denn man kann sich mit Leichtigkeit davon überzeugen, dass der Brucit durch Druck dauernd anomal wird und dann in der oben beschriebenen Weise sich verhält. Man findet leicht Spaltblättchen, die wenigstens an einigen Stellen optisch normal, d. h. im parallelen Licht in jedem Azimuth dunkel sind. Wenn man auf eine solche Stelle einen Druck ausübt, z. B. von oben mit einer Stecknadel drückt, während man das Blättchen im Mikroskop beobachtet, so sieht man, wie um die Druckstelle herum die Platte sich aufhellt und so bleibt, auch wenn der Druck aufhört. Im convergenten Licht ist das Axenbild an diesen Stellen gestört.

Die Anomalien des Brucits sind daher als durch Druck hervorgerufen anzusehen, sie können durch den Druck im Gebirge, aber auch später bei dem Sammeln etc. entstanden sein, da jeder Druck bei der geringen Härte des Minerals dauernde Anomalien zur Folge hat.

Eis.

Literatur.

F. Klocke. Über die optische Structur des Eises. N. Jb. 1879. p. 279—281.

»In den Eistafeln, welche unregelmässig gelagerte Individuen einschliessen, zeigt sich, abgesehen von den durch diese verursachten Veränderungen des Interferenzbildes, auch in den normal gestellten Partien der Platte zuweilen eine charakteristische Störung des Axenbildes. Das schwarze Kreuz ist in zwei Hyperbeln aufgelöst, deren Scheitel jedoch nicht sehr weit von einander abstehen. Diese Deformation ist hier ohne Zweifel durch einen auf das betreffende Eis-Individuum seitlich wirkenden Druck zurückzuführen.

»Es gelang mir nämlich sehr leicht, an Platten mit normalem Axenbild die Zweiaxigkeit durch einen senkrecht gegen die optische Axe ausgeübten Druck hervorzurufen, und zwar genügte hierzu schon das einfache Drücken der Platte zwischen den Fingern. Liess ich mit dem Druck nach, so entstand sofort wieder das den einaxigen Krystallen zukommende Ringsystem. Wenn die Richtung des Druckes 45° mit den Hauptschwingungsrichtungen der Nicols machte, so war der Wechsel des Axenbildes am deutlichsten, indem das dunkle Kreuz der normalen Figur in die Hyperbeln auseinander ging, die sich bei dem Nachlassen des Druckes wieder zu dem Kreuz vereinigten.

»Unter der Wirkung des Druckes verwandelte sich die optische Axe des Eises in die Bisectrix, und die Ebene der optischen Axen stellte sich so her, dass ihre Projection auf der Platte in der Richtung der stattfindenden Zusammenpressung lag.«

Andere Anomalien als auf Druck zurückzuführende sind vom Eis nicht bekannt.

Quarz.

Literatur.

1. D. Brewster. Ed. Trans. Vol. IX, I. p. 139—152. 1821. (Amethyst.)
2. H. W. Dove. Farbenlehre. p. 251. 1853. (Amethyst.)
3. G. Jenzsch. Zur Theorie des Quarzes. Erfurt 1861.
4. A. Breithaupt. P. A. 121. p. 326—329. 1864; auch schon P. A. 120. p. 334. 1863.
5. H. W. Dove. P. A. 122. p. 457—461. 1864.
6. E. Schuhmacher. Die Gebirgsgruppe des Rummelsberges bei Strehlen. Z. g. G. 30. p. 472—474. 1878.
7. K. A. Lossen. Z. g. G. 34. p. 678. 1882.

8. E. Reusch. Über gewundene Bergkrystalle. Sitzungsber. d. Berl. Akad. 12. Januar 1882. p. 146.

9. H. Böcklen. Über den Amethyst. N. Jb. 1883, I. p. 62—73.

10. E. Stecher. Contacterscheinungen an schottischen Olivindiabasen. T. M. M. IX. p. 163. 1887.

11. G. Wyrouboff. Recherches sur la structure des corps cristallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. VI. Sér. T. VIII. p. 355—360. 1886.

12. K. A. Lossen. Z. g. G. 39. p. 837. 1887.

13. C. A. McMahon. On the polysynthetic structure of some porphyritic Quartz Crystals in a Quartz-felsite. Min. Mag. Vol. VIII. No. 36. p. 10—14. 1888.

14. G. Wyrouboff. Nouvelles recherches sur la structure des cristaux doués du pouvoir rotatoire. Bull. min. XIII. p. 231—233. 1890.

Die im Quarz beobachteten optischen Anomalien sind zweierlei Art; entweder treten sie nur um Einschlüsse herum auf, oder sie sind durch die ganze Masse ziemlich gleichmässig vertheilt.

Im ersteren Falle (vergl. Rosenbusch, Physiographie der massigen Gesteine, II. Aufl. p. 357) wird zwischen gekreuzten Nicols, bei Einstellung des Wirthes auf dunkel, der Einschluss von vier schwach bläulich aufgehellten Quadranten umgeben, welche durch ein dunkles Kreuz parallel den Nicolhauptschnitten geschieden werden. Diese Anomalien sind durch die ungleichmässige Ausdehnung des Quarzes und des Einschlusses entstanden (vergl. p. 174).

Die andern Anomalien äussern sich in Schliffen annähernd parallel der Axe durch undulöse Auslöschung, in Schliffen senkrecht zur Axe durch schwache Zweiaxigkeit im convergenten Licht, durch Feldertheilung im parallelen Licht.

Die Autoren, welche diese Anomalien beschrieben haben, sind mit Ausnahme Wyrouboff's darin einig, dass sie auf innere Spannungen zurückzuführen und diese durch Druck entstanden sind. Einige Beispiele mögen als Beleg hierfür dienen und zugleich das optische Verhalten näher erläutern.

Wir führen zuerst die bekannten »geschwänzten« Quarze des Porphyrs von Heiligenstein bei Thal im Thüringerwald an, worüber K. A. Lossen (7) sich wie folgt äussert:

»Übrigens galt die nur gelegentlich vorgenommene mikroskopische Untersuchung vorzüglich der Ermittlung, ob die äusserlich so eigenthümlich gestalteten Quarzausscheidungen innerlich ein krystallinisches Aggregat oder aber ein einheitliches Krystallindividuum darstellen; ..... Indem nun die Beobachtung im parallel polarisirten Lichte im Allgemeinen die letztere Vorstellung bestätigte, ergab sie darüber hinaus doch das interessante Resultat, dass die Fluctuation des Porphyrmagma nicht nur die äussere Form, sondern auch die Molekularstructur der Quarzausscheidungen sichtlich beeinflusst hat. Es zeigen nämlich die Quarzdurchschnitte kaum jemals über ihre ganze Flächenausdehnung genau die gleiche Farbe, sondern die eigenthümlich nüancirten Farbentöne windschiefer Flächen, oder aber sie bilden zwar ein wirkliches Mosaik verschieden gefärbter Feldchen, das aber meist, entfernt von der gewöhnlichen entschiedenen Aggregatpolarisation eines krystallinisch-

körnigen Haufwerks, nur die Farbenunterschiede eines in seinen einzelnen Theilen nicht molekular streng parallel geordneten Krystallindividuums erkennen lässt. Es hat also die Bewegung des Magma einen hier und da bis zur inneren Verwirrung gesteigerten drehenden Einfluss auf die Lage der in Gruppirung begriffenen Moleküle ausgeübt.«

Im convergenten Licht zeigen die senkrecht zur Axe getroffenen Krystalle, wie Lossen später (12) mittheilte, mehr oder weniger geringfügige Störungen des Interferenzkreuzes, indem die Kreuzbalken bei der Drehung des Präparats die Tendenz zeigen, hyperbolisch aus einander zu weichen, und zwar ist diese Tendenz bei einem und demselben Quarzkrystall an verschiedenen Stellen verschieden.

Der Quarz in einem Diabas von Hound Point bei Dalmeny ist nach E. Stecher (10) optisch anomal. Die Quarzsubstanz ist am Rande der Krystalle meist durch Calcitsubstanz verdrängt, so dass die sechsseitigen Umrisse nicht mehr ganz scharf sind. Die innerhalb der regelmässigen Krystallumrisse gelegene abgerundete Quarzsubstanz ist entweder nach den Radien optisch orientirt, oder selbst in einzelne von einander ganz abweichend orientirte Körner von unregelmässiger Begrenzung zerfällt. In der Structur dieser Quarze wird der Ausdruck einer Spannung erblickt, welche dahin zielt, die einheitlichen Quarzkrystalle in einzelne krystallinische Körner zu zerspalten. Die aus dem gluthflüssigen Magma auskrystallisirten Quarze sind, nach Ansicht von Stecher, durch die infolge der weiteren Abkühlung eingetretene Contraction in einen Zustand innerer Spannung versetzt worden und hierdurch optisch anomal.

In ähnlicher Weise erwiesen sich die Quarzkörner des von McMahon untersuchten (13) indischen Quarzporphyrs im Schliff polysynthetisch, d. h. aus optisch verschieden orientirten Partien zusammengesetzt. Der genannte Verfasser schreibt diese Erscheinung einem innern Druck der Gesteinsmasse zur Zeit ihrer Festwerdung zu.

Ebenso wie die gemeinen Quarze zeigen die Amethyste oft Zweiaxigkeit In Bestätigung der Beschreibung Brewster's (1) giebt Böklen[1]) (10) an, dass der Amethyst abwechselnd aus rechts und links drehenden Theilen aufgebaut ist, an vielen Stellen das normale Interferenzbild einfacher Quarzkrystalle, an andern die Airy'schen Spiralen, an wieder andern, in der Regel zwischen rechts und links drehenden Partien gelegenen Stellen das Bild einaxiger, nicht circularpolarisirender Krystalle zeigt und ebenfalls an vielen Punkten schwache Zweiaxigkeit erkennen lässt. Letztere soll nach E. Reusch (8) mit Contractionen infolge definitiven Erstarrens zusammenhängen.

Die genauesten Mittheilungen über optisch anomale Quarze hat G. Wyrouboff (11) gegeben. Er hat nicht klare Bergkrystalle untersucht, weil diese immer ganz normal sich verhalten, sondern er hat solche Krystalle gewählt, welche schon durch ihr Aussehen innere Störungen verrathen. Diese waren

[1]) Hier auch weitere Literatur über Amethyst.

denn auch optisch anomal. Platten senkrecht zur Axe zerfielen z. B. in sechs optisch zweiaxige Felder, die Ebene der optischen Axen lag zur Trennungslinie zweier benachbarter symmetrisch und bildete hiermit je einen Winkel von ca. 45°; der Winkel der optischen Axen erreichte eine Grösse von etwa 35° in Luft. Nur schwach zweiaxig erwiesen sich die sogenannten Hyacinthen von Compostella. Eine andere Platte war in der Mitte normal einaxig und circularpolarisirend, dann folgte eine Schicht, welche die Airy'schen Spiralen zeigte, hierauf eine einaxige Schicht ohne Circularpolarisation, und am Rande eine zweiaxige Schicht mit sehr kleinem Axenwinkel; die Ebene der optischen Axen bildete einen Winkel von annähernd 63° mit der Randkante (Fig. 58, Taf. III).

Dies Verhalten kann man nach Wyrouboff »de la manière la plus satisfaisante« erklären, wenn man annimmt, dass der Quarz aus zweiaxigen Lamellen von bald gleicher, bald verschiedener Dicke aufgebaut ist, die sich unter 90° und 60° durchkreuzen. Die Frage nach der Form und Symmetrie dieser Lamellen muss Wyrouboff »einstweilen« ungelöst lassen. Eine der bekannten Modificationen der Kieselsäure, Tridymit oder Asmanit, könnte nicht zu Grunde liegen, da ihr specifisches Gewicht (2,30 Tridymit) geringer sei als das des Quarzes (2,65). »Comment admettre que des lames de densité moindre puissent former par leur empilement un solide de densité supérieure?« Man müsste daher, meint Wyrouboff, eine weitere unbekannte, vielleicht sehr unbeständige zweiaxige Modification der Kieselsäure annehmen, welche den Quarz aufbaut.

Auf die Bedenken, welche einer solchen Annahme entgegenstehen, habe ich schon bei Besprechung des Tridymit (vergl. p. 126) hingewiesen. Weil alle klaren Krystalle von Quarz optisch normal und nur die trüben, namentlich auch die eingewachsenen Krystalle anomal sind, so betrachte ich den Quarz als einen optisch einaxigen Krystall und die Anomalien als durch innere Spannungen hervorgerufen und nehme an, dass diese oft, wie die obigen Beispiele zeigen, durch den Druck des Gebirges, bisweilen vielleicht auch durch andere störende Einflüsse während des Wachsthums entstanden sind.

Zusatz. Nachdem dies niedergeschrieben war, ist Wyrouboff noch einmal auf den Gegenstand zurückgekommen (14). Er beklagt sich darüber, dass seine Ausführungen die Physiker[1]) nicht überzeugt haben, dass sie es immer noch für unwahrscheinlich halten, dass ein Körper, dessen optische Eigenschaften so constant sind, aus gekreuzten, wenig symmetrischen Lamellen aufgebaut sei.

Als einen neuen Beweis für die Richtigkeit seiner Annahme führt er an, dass in Quarz- und Amethystkrystallen Stellen vorkommen, welche einaxig sind, aber keine Circularpolarisation erkennen lassen.

Diese seit langem bekannte Erscheinung kann dadurch zustande kommen, dass dünne, rechts und links drehende Schichten mit einander in vielfacher Wiederholung abwechseln und hierdurch die Drehung aufheben.

---

1) Jamin et Bouty. Cours de physique. 4. Éd. III, 2. p. 532. 1887.

»Mais si un semblable empilement paraît tout naturel, pourquoi un empilement non moins régulier de lames minces biaxes paraîtrait-il extraordinaire?«

Wir antworten, weil vorkommende zweiaxige Stellen in einem Krystall nicht immer ein Beweis dafür sind, dass der Krystall aus zweiaxigen Lamellen aufgebaut ist, und weil die Existenz einer zweiaxigen Modification der Kieselsäure mit den erforderlichen Eigenschaften aus den oben angeführten Gründen höchst unwahrscheinlich ist.

Überjodsaures Natron.

Literatur.

G. Wyrouboff. Recherches sur la structure des corps crystallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. VI. Sér. T. VIII. p. 367.

Das überjodsaure Natron $= Na\,JO_4 + 3H_2O$ krystallisirt hexagonal, trapezoëdrisch-tetartoëdrisch; die Krystalle sind hemimorph nach der Hauptaxe. Der optische Charakter ist positiv, die Doppelbrechung ziemlich schwach, die Drehung der Polarisationsebene stärker als beim Quarz (vergl. P. Groth, Physikalische Krystallographie, II. Aufl. p. 388).

Nach den Beobachtungen von Wyrouboff krystallisirt das Salz aus saurer Lösung in schönen, glänzenden, vollkommen durchsichtigen und homogenen Krystallen. Im polarisirten Licht lassen sie sehr schön die Circularpolarisation, oft auch in Zwillingen die Airy'schen Spiralen erkennen; von optischen Anomalien aber ist nicht die geringste Spur zu finden: »J'ai examiné un grand nombre de ces cristaux de dimensions diverses, en plaques épaisses ou en lames minces, et je n'y ai jamais observé de phénomènes anormaux: ils sont incontestablement uniaxes.«

Wenn man dagegen das Salz in reinem Wasser löst und durch Verdunsten krystallisiren lässt, so erhält man ziemlich dicke Krystalle, die aber im Gegensatz zu den ersteren schlecht gebildet sind. Die Flächen sind gekrümmt, viele Krystalle sind mit einander verwachsen und nur in dünnen Blättchen durchsichtig. Diese Krystalle verhalten sich in der Regel optisch anomal; basische Platten zerfallen im polarisirten Licht in drei Felder, das im convergenten Licht auftretende Kreuz öffnet sich in drei verschiedenen Richtungen. Diese schon äusserlich unvollkommen gebildeten Krystalle verrathen nach Ansicht von Wyrouboff den wahren inneren Bau und beweisen, dass die Substanz zweiaxig ist: »L'existence des plages à structures différentes, de croix noires se disloquant dans plusieurs directions, démontre que les cristaux du métaperiodate de soude ne sont uniaxes qu'en apparence.« Die klaren und tadellos beschaffenen Krystalle, welche geometrisch und optisch die Anforderungen des hexagonalen Systems aufs strengste erfüllen, verdienen diesen verkrüppelten Krystallen gegenüber keine Berücksichtigung: »La constance de

leur forme géométrique et de leurs propriétés optiques n'est point un argument en faveur de leur symmétrie rhomboédrique.«

Ich meine, jeder Unbefangene muss hier den Eindruck gewinnen, dass zu Gunsten einer Hypothese, die unter allen Umständen aufrecht erhalten werden soll, die Dinge geradezu auf den Kopf gestellt werden.

Ist es nicht viel naturgemässer, in den klaren, schönen Krystallen die normale Ausbildung zu erblicken, in den andern aber solche, deren Bau gestört ist?

Zirkon.

Literatur.

1. G. Jenzsch. Zur Theorie des Quarzes. Erfurt 1861.
2. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75.
3. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 21. 1867; auch P. A. 126. p. 412. 1865.
4. E. Mallard. Anomal. opt. p. 143. 1876.
5. W. Klein. Beiträge zur Kenntniss der optischen Änderungen in Krystallen unter dem Einfluss der Erwärmung. Z. Kr. IX. p. 46.
6. Dom Pedro Augusto von Sachsen-Coburg. Beiträge zur Mineralogie und Petrographie Brasiliens. T. M. M. X. p. 455. 1889.

Optische Anomalien sind im Zirkon ziemlich häufig, aber niemals sehr auffallend und meist ohne jede Regelmässigkeit. Bisweilen verhält sich der Zirkon ganz normal, u. a. sind die aufgewachsenen farblosen Krystalle des Pfitscher Zirkons vollkommen optisch einaxig und durchaus homogen[1]). Die eingewachsenen Krystalle zeigen in der Regel, wenn auch nur an einzelnen Stellen, Anomalien.

Ein von Mallard untersuchter Zirkonkrystall zeigte in einer Platte senkrecht zur Axe zwischen gekreuzten Nicols einen in allen Lagen ziemlich gleichmässig dunklen Kern, und um diesen nach aussen vier Sectoren, in denen einzelne schmale Streifen durch etwas grössere Helligkeit hervortraten, wenn die Platte in der Diagonalstellung sich befand. Die Auslöschung erfolgte in der Normalstellung, aber nur unvollkommen, und auch die Aufhellung war ungleichmässig. Im convergenten Licht erwies sich der Kern als einaxig, während die Streifen ein etwas gestörtes Interferenzbild gaben, die Kreise erschienen hier mehr oder weniger deformirt, oft so wenig, dass man es kaum bemerkte.

Ein anderer Krystall zeigte in einer 2—3 mm dicken Platte zwischen gekreuzten Nicols ganz unregelmässige Auslöschung; bei dem Drehen des Präparates wanderte ein schwarzer Balken über die Platte hin; das im convergenten Licht auftretende Interferenzbild war wieder deformirt, die Grösse des Axenwinkels und die Ebene der optischen Axen war an verschiedenen Punkten der Platte verschieden.

1) A. Gehmacher. Z. Kr. XII. p. 51. 1887.

Mallard erklärte wegen dieses Verhaltens den Zirkon für monoklin; Dom Pedro Augusto von Sachsen-Coburg dagegen hat die Ansicht ausgesprochen, dass die Störungen in einer polysynthetischen Zwillingsstreifung, ähnlich wie die im Rutil, ihren Grund haben. Wenn überhaupt, so kann dies nur in beschränktem Maasse der Fall sein, weil Zwillingsbildung bei Zirkon sehr selten ist und die doppelbrechenden Streifen meist nicht in der Richtung von Zwillingslamellen verlaufen.

An einem Präparat von Zirkon, welches ich untersuchen konnte, sah man deutlich, dass die Anomalien nur durch mechanische Störungen entstanden waren, denn sie fanden sich nur da, wo Spaltrisse die Platte durchsetzten. Die senkrecht zur optischen Axe geschnittene Platte war am Rand unregelmässig begrenzt und von vereinzelten kürzeren und längeren Spaltrissen nach dem Prisma durchsetzt. An den von Rissen freien Stellen verhielt sie sich normal, da aber, wo die Risse waren und namentlich wo diese absetzten, war sie anomal; zu beiden Seiten der Risse waren unregelmässige helle Flecken zu bemerken. Schaltete man das Gypsblättchen ein, so wurden diese Stellen blau und gelb, und aus der Farbenvertheilung war zu schliessen, dass die grösste Elasticitätsaxe nach dem Spaltriss zu gerichtet war. Die Verhältnisse sind denen am Steinsalz beschriebenen ganz analog, nur mit dem Unterschied, dass die anomalen Stellen in der Richtung der Spaltflächen, nicht auch in der von Gleitflächen verlaufen, weil bei Zirkon keine Fläche den Charakter einer Gleitfläche hat. Oder sollten vielleicht die ab und zu beobachteten, in der Richtung der Diagonalen verlaufenden doppelbrechenden Streifen eine versteckte Verschiebbarkeit nach den Flächen von $P\infty$ andeuten? Es wäre dies dann analog dem, was wir von Zinkblende kennen gelernt haben.

So wie für diesen Zirkon sind gewiss auch für die andern die Anomalien auf mechanische Störungen, Einwirkung von Druckkräften zurückzuführen.

Quecksilberjodid. HgJ_2.

Literatur.

P. Groth. Physikalische Krystallographie. II. Aufl. p. 407.

»Die Krystalle dieses Körpers bieten ein bemerkenswerthes Beispiel für die ..... Erscheinungen der inneren Spannung und dadurch bewirkter Veränderung der optischen Erscheinungen. Während die aus einer Auflösung in Jodkalium erhaltenen Krystalle gewöhnlich ohne alle Störung ihrer Structur sind, erscheinen die aus gewissen organischen Lösungsmitteln auskrystallisirten, wenn man dünne Spaltungsplatten nach der Basis im polarisirten Licht bei gekreuzten Nicols betrachtet, nur stellenweise dunkel, häufig nur die Mitte der Platte, während der grösste Theil beim Drehen hell und dunkel wird, und zwar derart, dass die Substanz gespannt erscheint parallel den Diagonalen

der Basis (den Nebenaxen). Im convergenten Lichte erscheinen denn auch die ersteren Partien einaxig, die letzteren zweiaxig mit wechselndem Axenwinkel, wobei die Axenebene stets einer der beiden Nebenaxen parallel ist. Sehr häufig sind die dünnsten Spaltungsplatten noch aus mehreren über einander liegenden Schichten zusammengesetzt, in welchen die Spannungsrichtungen, also auch die Axenebenen gekreuzt sind. Es entstehen dann, um so regelmässiger, je mehr solcher Schichten mit einander abwechseln, die farbigen Hyperbeln, welche sich mit der Platte drehen und welche man stets erhält, wenn man dünne Platten einer zweiaxigen Substanz, z. B. Glimmertafeln, kreuzweise auf einander schichtet.«

Da die Spannungen nur dann entstehen, wenn die Krystalle in bestimmten (welchen?) Lösungen sich bilden, so werden sie offenbar durch irgendwelche Wachsthumsvorgänge, vielleicht durch Trichitenbildung hervorgerufen.

Leukophan.

Literatur.

1. E. Bertrand. Note on the law of twinning and hemihedrism of Leucophane. Phil. Mag. 5. Ser. III. p. 357. 1877.

2. P. Groth. Anmerkung zu dem Referat über vorstehende Arbeit. Z. Kr. II. p. 199—204. 1878.

3. W. C. Brögger. Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge etc. Z. Kr. XVI. p. 261—264. 1890.

P. Groth hatte gefunden, dass dünne, der Spaltfläche parallele Schliffe von Leukophanzwillingen nicht gleichzeitig in ihrer ganzen Ausdehnung auslöschen, sondern dass die Diagonalen der Platten, welche den auf der Oberfläche sichtbaren einspringenden Winkeln entsprechen, scharfe Trennungslinien zwischen je zwei Sectoren bilden, deren Auslöschungsrichtungen für Natriumlicht 4° mit einander einschliessen. P. Groth hatte hieraus geschlossen, dass Leukophan nicht rhombisch, sondern monoklin sei; da in den von ihm untersuchten Platten die optischen Axen in zwei auf einander nahe senkrechten Ebenen liegen (86° einschliessen), würden die Krystalle als Vierlinge monokliner Individuen aufzufassen sein.

In neuester Zeit hat W. C. Brögger an reichlichem und dem besten Material genaue Untersuchungen angestellt und ist hierbei zu der Ansicht gekommen, dass der Leukophan doch rhombisch ist und jene von Groth beobachteten Abweichungen als Anomalien aufzufassen sind.

Die hier in Betracht kommenden Präparate Brögger's zeigten doppelte Feldertheilung, solche nach den Diagonalen, der von Groth beobachteten entsprechend, und Theilung nach den Kanten.

Die Diagonaltheilung, welche Brögger als Zwillingsgrenze erster Art bezeichnet, ist an den Ecken scharf und deutlich, verliert sich aber ganz allmählich nach dem Innern zu. Der Auslöschungswinkel zwischen zwei an der Diagonale zusammenstossenden Theilen beträgt in der Nähe der Ecke annähernd

4°, wie Groth gefunden hatte, die Auslöschung gegen die Diagonale erfolgt aber in beiden Theilen nicht symmetrisch, während der Auslöschungswinkel für den einen Theil z. B. 2° 43½′ beträgt, ist er für den andern nur 1° 43½′. Bestimmt man nun die Auslöschung in immer grösserer Entfernung bis ungefähr 2—3 mm von der Ecke, zuerst für das eine, dann für das andere der in Zwillingsstellung erster Art sich befindenden Individuen, so zeigt dieselbe für beide immer mehr und mehr sich nähernde Werthe, bis zuletzt keine Grenze mehr zwischen beiden Individuen vorhanden ist, die Zwillingsgrenze zwischen beiden muss hier genau parallel der Auslöschungsrichtung sein. Da also, schliesst Brögger, die Auslöschungsverhältnisse der Randzone in diejenigen der inneren Theile allmählich übergehen, müssen sie als eine optische Anomalie, wahrscheinlich als Druck- oder Spannungserscheinungen erklärt werden. Die optischen Beobachtungen widersprechen also nicht der sonst einzigen möglichen Annahme eines rhombischen Axenverhältnisses.

Die Zwillingsgrenzen zweiter Art sind immer scharf und bis in die Mitte zu verfolgen, es sind die Grenzen von zwei thatsächlich zu einander in Zwillingsstellung befindlichen rhombischen Individuen, welche so gelagert sind, dass die Ebenen der optischen Axen in zwei an einander stossenden Individuen nahezu senkrecht auf einander sind.

IV. Optische Anomalien durch isomorphe Beimischung.

Allgemeine Bemerkungen.

Literatur.

1. R. Brauns. Über die Ursache der anomalen Doppelbrechung einiger regulär krystallisirender Salze. N. Jb. 1883, II, p. 102—111.

2. —— Einige Beobachtungen und Bemerkungen zur Beurtheilung optisch anomaler Krystalle. Diss. Marburg 1885. N. Jb. 1885, I. p. 96—118.

Wir haben gesehen, dass von Biot und nach ihm von mehreren andern Forschern gelegentlich erwähnt wird, dass die anomalen Krystalle von Alaun isomorphe Mischungen gewesen seien, aber niemals ist von ihnen die Ansicht ausgesprochen und der Beweis geführt, dass optische Anomalie und isomorphe Beimischung in einem ursächlichen Zusammenhang stehen. Erst R. Brauns hat gezeigt, dass dies der Fall ist, dass von gewissen Substanzen die chemisch reinen Krystalle normal, die mit isomorpher Beimischung aber anomal sind, dass also die optischen Anomalien in diesen Fällen durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen werden.

Nach den Untersuchungen von R. Brauns sind alle reinen Alaunkrystalle einfachbrechend, die mit isomorpher Beimischung aber doppelbrechend in der von Biot und Reusch beschriebenen Weise. Bleinitrat und Baryumnitrat krystallisiren für sich in einfachbrechenden Krystallen, mit einander isomorph gemischt sind sie doppelbrechend. Die unterschwefelsauren Salze von Blei, Strontium und Calcium sind für sich normal optisch einaxig, enthält aber ein Salz etwas vom andern isomorph beigemischt, so wird es anomal zweiaxig.

Da viele optisch anomale Mineralien isomorphe Beimischung enthalten, so hält R. Brauns es für möglich, dass auch bei ihnen, z. B. bei Granat, die Ursache der Anomalien in der isomorphen Beimischung liegt. Dass dies wirklich der Fall ist, kann kaum mehr einem Zweifel unterworfen sein. Hiermit soll aber durchaus nicht gesagt sein, dass überhaupt isomorphe Beimischung optische Anomalien im Gefolge habe, dies muss doch immer als Ausnahme gelten.

Nach unserer Auffassung der Isomorphie müssen die physikalischen Eigenschaften der isomorphen Mischungen aus den physikalischen Eigenschaften der Componenten sich berechnen lassen, wenn man das Mengenverhältniss der in einer Mischung vertretenen Componenten kennt.

Von den triklinen Feldspathen weiss man es schon seit längerer Zeit[1], dass das specifische Gewicht der isomorphen Mischungen dem Mengenverhältniss und dem specifischen Gewicht der Componenten entspricht, so dass man aus dem specifischen Gewicht dieser Feldspathe ihre Zusammensetzung annähernd bestimmen kann. Durch genaue Untersuchungen der isomorphen Mischungen von mehreren Salzen hat kürzlich Retgers[2] es als Gesetz erkannt, »dass bei isomorphen Körpern zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem specifischen Gewicht, respective specifischen Volumen der Mischkrystalle eine Proportionalität herrscht«, und die Proportionalität wird für ihn gerade zu einem Kriterium für Isomorphismus: »Zwei Substanzen sind nur dann wirklich isomorph, wenn die physikalischen Eigenschaften ihrer Mischkrystalle continuirliche Functionen ihrer chemischen Zusammensetzung bilden.«

Die optischen Eigenschaften gehorchen gleichfalls diesem Gesetz; schon Ditscheiner hatte auf Grund reiner Speculationen den Satz ausgesprochen, dass »die Geschwindigkeit des Lichts in einem Gemische isomorpher Substanzen den Geschwindigkeiten des Lichts der einzelnen Theile, sowie ihrem Antheile am Gemische proportional ist« (vergl. oben p. 26). Die neueren Untersuchungen von Dufet und Wyrouboff haben dies vielfach bestätigt. Dufet[3] hat seine Untersuchungen an den Sulfaten von Magnesium, Nickel und Zink ausgeführt und gefunden: »Si l'on prend, non pas la composition

[1] Goldschmidt, N. Jb. f. Beil.-Bd. p. 212.

[2] Das specifische Gewicht isomorpher Mischungen. Zeitschr. f. physik. Chemie. III. p. 547. 1889.

[3] Sur la variation des indices de réfraction dans des mélanges de sels isomorphes. Bull. min. I. p. 58—61. 1878.

centésimale, mais la proportion en équivalents des deux sels qui entrent dans le mélange, on a la loi suivante: les différences entre les indices d'un mélange de deux sels isomorphes et ceux des sels composants sont en raison inverse des nombres d'équivalents des deux sels qui entrent dans le mélange.« Die andern optischen Eigenschaften gehorchen demselben Gesetz; am bekanntesten ist dies von den triklinen Kalk-Natronfeldspathen, deren Auslöschungsschiefe genau der aus der Mischung berechneten entspricht und daher ein viel benutztes Mittel ist, um ohne Analyse die Zusammensetzung derselben möglichst annähernd zu bestimmen.

Dasselbe wie von dem specifischen Gewicht und den optischen Eigenschaften isomorpher Mischungen gilt von dem Schmelzpunkt. Nach einer in dieser Richtung angestellten Untersuchung von Fr. W. Küster[1]) ist der Schmelzpunkt isomorpher Mischungen aus den Schmelzpunkten der Componenten nach der Mischungsregel unter Zugrundelegung des molekularen Verhältnisses berechenbar.

Auch die Winkel isomorpher Mischungen ändern sich im allgemeinen proportional mit der Zusammensetzung.

Wenn demnach im allgemeinen die physikalischen Eigenschaften isomorpher Mischkrystalle den Eigenschaften und dem Mengenverhältniss der Componenten proportional sind, so kommen doch auch Ausnahmen vor.

So hat unter Andern Arzruni[2]) gefunden, dass zwischen dem Calciumgehalt der Cölestinkrystalle und der Winkeländerung keine einfache Beziehung besteht, und die von Groth[3]) gemessenen Mischkrystalle von überchlorsaurem und übermangansaurem Kali zeigten gar Winkelwerthe, die nicht innerhalb der durch die reinen Salze, aus denen sie gemischt waren, gegebenen Grenzen standen, sondern nicht unbeträchtliche Abweichungen davon zeigten. Ebenso ist es mit dem Olivin. Nach den Messungen von M. Bauer[4]) liegen bei den Gliedern der Olivinreihe die Winkelwerthe der eisenreichen Mischungen nicht zwischen den Werthen des eisenhaltigen, magnesiafreien Fayalits und des magnesiahaltigen, (beinahe) eisenfreien Forsterits, sondern ausserhalb derselben.

Hierher gehören nun auch unsere optischen Anomalien. Mischkrystalle von Substanzen, deren Krystalle einfachbrechend sind, müssten ebenfalls einfachbrechend, solche von einaxigen Substanzen einaxig sein. Dies ist aber nicht immer der Fall, vielmehr sind die Mischkrystalle regulär krystallisirender

---

1) Über eine scheinbare Einschränkung des Raoult'schen Gesetzes über die Gefrierpunktserniedrigung von Lösungen. Schmelzpunkt isomorpher Mischungen. Zeitschr. f. phys. Chemie. V. p. 605. 1890.

2) Über die Isomorphie der wasserfreien Sulfate der alkalischen Erden. Ber. d. d. chem. Ges. 1872. 1043.

3) Beiträge zur Kenntniss der überchlorsauren und übermangsauren Salze. P. A. 133. p. 192. 1868.

4) Krystallographische Studien am Hyalosiderit und Forsterit. N. J. 1887, I. p. 35.

Substanzen oft doppelbrechend, die einaxiger zweiaxig, und solche rhombischer Krystalle besitzen Eigenschaften, wie sie sonst nur monoklinen Krystallen zukommen.

Wie schon in früheren Fällen können wir auch hier den Grund der optischen Anomalien für die »künstlichen« Krystalle im allgemeinen mit grösserer Sicherheit angeben wie für die natürlichen, da wir bei ihnen die Bedingungen kennen, unter denen sie entstanden sind, und störende Einflüsse, die vielleicht bei der Bildung sonst zur Geltung kommen, fern halten können; und wenn wir dann wissen, dass die reinen Krystalle dieser Salze immer optisch normal, die mit isomorpher Beimischung anomal sind, so schliessen wir, dass die isomorphe Beimischung die Anomalien hervorruft.

Von den natürlichen Krystallen können wir oft nur wissen, dass sie isomorphe Beimischung enthalten, und wenn sie anomal sind und wir schliessen, die Anomalie werde durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen, so ist dies ein Analogieschluss, der auch einmal falsch sein kann, da ganz ähnliche Anomalien wie durch isomorphe Beimischung auch durch andere Ursachen, z. B. Wasserverlust entstehen können.

Die Sicherheit, mit der man die Ursache der Anomalie erkennen kann, ist am grössten bei den regulären Krystallen, da ihr optisches Verhalten sehr charakteristisch ist. Die ausgesprochene Abhängigkeit der optischen Structur, Feldertheilung u. s. w. finden wir nur bei den regulären Krystallen, die durch isomorphe Beimischung doppelbrechend sind, nicht in solchen, die aus irgend einer andern Ursache anomal sind.

Die durch isomorphe Beimischung in quadratischen und hexagonalen Krystallen hervorgerufenen Anomalien sind schon nicht mehr so charakteristisch und unter den »künstlichen« Krystallen nur an den Dithionaten genauer studirt worden. Es wäre sehr wünschenswerth gewesen, wenn die Untersuchungen auch auf andere Substanzen hätten ausgedehnt werden können, aber meine Bemühungen, geeignetes Material zu bekommen, sind erfolglos geblieben. Die Phosphate, die hier in Betracht kommen ($[NH_4]H_2PO_4$ und KH_2PO_4), können für sich allein ziemlich leicht in guten Krystallen erhalten werden, aus gemischten Lösungen aber krystallisiren sie nur in sehr kleinen, unbrauchbaren Kryställchen, meist als Efflorescenz an den Wänden des Gefässes. Das Nickelsulfat giebt durch Beimischung von Kobalt allerdings genügend grosse Krystalle, aber die Anomalien sind in ihnen gar zu schwach. Andere geeignete Substanzen habe ich nicht gefunden.

Unter den natürlichen quadratischen und hexagonalen Krystallen giebt es viele, welche anomal sind und isomorphe Beimischung enthalten. Wir stellen diese daher hierher, erinnern aber daran, dass ähnliche Anomalien, z. B. durch Wasserverlust, entstehen können, die Entscheidung daher nicht so sicher ist wie bei den regulären Krystallen.

Rhombische, durch isomorphe Beimischung anomale Krystalle sind nur wenig bekannt; überhaupt werden die Anomalien um so seltener, je weniger

symmetrisch die Krystalle sind, nicht etwa, weil sie fehlen, sondern weil sie schwieriger nachzuweisen sind. Trikline und monokline sind bis jetzt nicht sicher bekannt[1]), rhombische nur wenig, am besten die regulären, mit denen wir darum beginnen.

Optische Anomalien durch isomorphe Beimischung in regulären Krystallen.

Nitrate.

Literatur.

1. H. Marbach. P. A. 94. p. 412—426. 1855.
2. F. Klocke. Über Doppelbrechung regulärer Krystalle. N. Jb. 1880, I. p. 76—84.
3. —— Bemerkungen über optische Anomalien am Thallium- und Selen-Alaun, Baryumnitrat etc. N. Jb. 1881, I. p. 158.
4. —— Axenbilder im convergenten Licht bei Alaun, Bleinitrat etc. Ber. über die Verhandlgn. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. VIII, 1. 1881. N. Jb. 1881, II. p. 267.
5. R. Brauns. Über die Ursache der anomalen Doppelbrechung einiger regulär krystallisirender Salze. N. Jb. 1883, II. p. 104.
6. —— Über Winkelschwankungen isotroper und doppeltbrechender regulärer Krystalle. N. Jb. 1887, I. p. 138—146.
7. J. Morel. Note sur les propriétés optiques des nitrates cubiques. Bull. min. X. p. 318. 1887.
8. —— Conditions de production de cristaux de nitrate de plomb cubique agissant sur la lumière polarisée. Bull. min. XI. p. 230—236. 1888.

Die isomorphen Nitrate von Blei, Baryum und Strontium krystallisiren regulär-tetartoëdrisch; das Strontiumsalz krystallisirt nur aus heisser Lösung regulär, aus kalter monoklin mit vier Molekülen Wasser.

Vom Verfasser wurde zu seinen Untersuchungen vorzugsweise Bleinitrat benutzt, dem mehr oder weniger Baryumnitrat isomorph beigemischt war. Diese Substanz ist ganz besonders für unsere Zwecke brauchbar, da sie leicht in beliebiger Menge in schönen Krystallen erhalten werden kann und durch beigemischtes Baryumnitrat so stark doppelbrechend wird, dass selbst verhältnissmässig dünne Schliffe zu optischen Untersuchungen noch geeignet sind. In dieser Beziehung ist sie den Alaunen weit vorzuziehen, da diese viel schwächer doppelbrechend sind und zur Untersuchung im convergenten Licht geeignete Platten kaum liefern. Die Krystalle haben vor den Alaunen noch den weiteren Vorzug, dass sie mässige Erwärmung vertragen und daher mit Canadabalsam erwärmt und auf dem Objectträger festgeklebt werden können, wie etwa ein zu einem Dünnschliff bestimmter Gesteinssplitter.

[1]) Die Mineralien der Harmotomgruppe: Harmotom, Phillipsit und Desmin genügen in ihrem optischen Verhalten nicht den Anforderungen des monoklinen Systems. Da sie isomorphe Mischungen sind, hält Langemann (N. Jb. 1886, II. p. 140) es für möglich, dass sie durch die isomorphe Beimischung anomal sind, wagt aber diese Frage doch nicht zu entscheiden. Die Verhältnisse sind durch die mehrfache Zwillingsbildung so complicirt, dass die bestimmte Entscheidung jedenfalls sehr schwierig ist. Wir ziehen es mit Langemann vor, die Frage, ob diese Mineralien monoklin und optisch anomal oder triklin sind, unentschieden zu lassen.

Die aus einer mit Salpetersäure angesäuerten, heissen und für gewöhnliche Zimmertemperatur etwas übersättigten Lösung beim Abkühlen sich ausscheidenden Krystalle sind wasserhell und klar und in der Regel begrenzt von den beiden Tetraëdern $+\frac{O}{2}(111)$, $-\frac{O}{2}(1\bar{1}1)$, dem Würfel $\infty O\infty(100)$ und dem Pyritoëder $\frac{\infty O2}{2}(210)$, von denen meist ein Tetraëder, bisweilen der Würfel, selten das Pyritoëder vorherrscht. Da beide Tetraëder ohne genauere Untersuchung nicht zu unterscheiden sind, so werden wir im folgenden ihre Flächen als Octaëderflächen bezeichnen. Viele der aus der Lösung sich abscheidenden Krystalle schweben zuerst auf der Oberfläche der Flüssigkeit bis sie einen Durchmesser von etwa einem Millimeter erreicht haben; dann sinken sie unter und wachsen auf dem Boden des Krystallisationsgefässes weiter und erreichen hier in 15—24 Stunden eine Länge und Breite von 5—10 mm, während die Dicke immer geringer bleibt.

Auflagerungsfläche während des Wachsthums ist entweder eine Octaëder- oder eine Würfelfläche; nach ihr sind die Krystalle immer tafelig. Bei der Beschreibung müssen wir die Auflagerungsfläche der Krystalle von den andern unterscheiden und bezeichnen daher hier, wie bei den Alaunen, die Auflagerungsfläche von O mit $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$, die gegenüber liegende obere also mit 111, die untere Würfelfläche mit $00\bar{1}$, die obere mit 001. Von den seitlichen Octaëderflächen nennen wir diejenigen die oberen, welche den stumpfen Winkel (109° 28′ 16″) mit der oberen Octaëderfläche 111 bilden, und diejenigen die unteren, welche den spitzen Winkel mit ihr bilden (vergl. Fig. 59, Taf. III).

Wenn Würfel und Pyritoëder an den Krystallen vorkommen, so treten sie in den meisten Fällen sowohl an den oberen als auch an den unteren, der Auflagerungsfläche anliegenden Ecken auf. Die Beobachtung von F. Klocke (2. p. 77), dass diese Flächen an den unteren Ecken immer fehlen, hat Verfasser nicht durchgehends bestätigt gefunden, sie sind allerdings immer kleiner, als die entsprechenden Flächen an den oberen Ecken, aber doch oft vorhanden, bisweilen freilich fehlen sie ganz. Es musste dies erwähnt werden, weil das Vorhandensein oder Fehlen dieser Flächen auf die optische Structur einen gewissen Einfluss ausübt.

Die Winkel der doppelbrechenden Mischkrystalle stimmen mit den von der Symmetrie geforderten Werthen ebenso gut überein, als die der einfachbrechenden Krystalle (6).

Zur optischen Untersuchung dienten bisher immer nur Platten parallel der Auflagerungsfläche, und doch geben erst Schliffe nach den seitlichen Octaëder-, Würfel- und Pyritoëderflächen vollen Aufschluss über die interessante optische Structur unserer Krystalle. Zur Herstellung dieser Präparate wurde der von Grailich[1]) beschriebene einfache Apparat mit grossem Vortheil benutzt: die Krystalle werden entweder direct oder besser, nachdem

[1]) Krystallographisch-optische Untersuchungen. Wien 1858. p. 12.

sie auf eine Korkplatte geklebt sind, auf ein Holzklötzchen festgeklebt und mit einem feinen, in einen Bogen eingespannten Draht und geschlämmtem Bimsteinpulver durchschnitten. Damit der Draht immer genau auf derselben Linie sich bewegt, lässt man ihn vorn und hinten am Klötzchen durch einen tiefen, schmalen Einschnitt gehen. Der auf die Korkplatte geklebte Krystall wird durch Drehen dieser gegen den durch die Führung festgelegten Draht orientirt und durch Erhärten des vorher unter die Korkplatte gebrachten Gummi arabicum in dieser Lage festgehalten. Auf diese Weise war es möglich, trotz der Sprödigkeit des Materials, aus nur einen Millimeter grossen Kryställchen Platten parallel den seitlichen Flächen herzustellen.

Bei der Beschreibung des optischen Verhaltens von Platten parallel den Auflagerungsflächen folgen wir den Mittheilungen von F. Klocke, denen wir nur wenig hinzuzufügen haben, und schliessen daran unsere Beobachtungen über das Verhalten von Platten nach den seitlichen Flächen.

Platten parallel der Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$.

Das optische Verhalten von Platten parallel der Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ (vergl. Fig. 60, Taf. III) beschreibt F. Klocke (2) wie folgt:

»Die Krystalle, in ihrem natürlichen Zustand senkrecht zu ihren breitesten Octaëderflächen betrachtet, erscheinen bei gekreuzten Nicols buntfarbig. Von der Mitte der Platte läuft nach jedem Eckpunkt ein farbiger Streifen; die Platte wird dadurch, wie beim Alaun, in sechs Sectoren zerlegt. Während aber beim Alaun die sechs radialen Streifen schwarz sind, so sind sie hier farbig, jeder besteht aus drei schmalen Streifen: blau, orange, gelb.

»In jedem Sector wechseln die Farben streifenweise parallel seiner Randkante ab, in breiteren oder schmäleren in einander verlaufenden Bändern. Durch Vergleichung mit einem Gypskeil fand ich gewöhnlich folgende Farben ausgebildet: an der Randkante beginnt die Färbung jedes Sectors meist mit einem verhältnissmässig sehr breiten Streifen von Grünlichgelb oder Grün der III. Ordnung, dann folgen sich nach innen die Farben in der absteigenden Reihenfolge der Newton'schen Ringe, und gut zu unterscheiden waren gewöhnlich neben dem genannten Grün: Blau und Violett (schmal) III. Ordnung, dann Roth (breit), Gelb (schmal), Grün, Blau, Violett II. Ordnung, endlich I. Ordnung: Roth (schmaler Streifen), Orange, Gelb (breit), Gelblichweiss (breite Zone), Hellbläulich, und letzteres durch Grau in die gewöhnlich schwarze Mitte verlaufend.

»Bei Parallelstellung der Nicols sind die Farben die complementären, ohne an ihrem Glanz zu verlieren.

»Die Breite der farbigen Bänder ist nicht in jedem Sector ganz dieselbe, so dass man einen bestimmten Farbenstreifen nicht in gleicher Entfernung vom Rande ringsherum durch alle Sectoren verfolgen kann. Nicht selten sind auch die den Randkanten parallelen Bänder durch kleine, unregelmässig vertheilte und abweichend gefärbte Flecken unterbrochen.

»Bei der Drehung des Krystalls in seiner Ebene bemerkt man, dass je zwei gegenüberliegende Sectoren gleichzeitig auslöschen, und zwar wenn die Randkanten, denen sie anliegen, in eine Polarisationsebene des Mikroskops fallen. Es ist das gleiche Verhalten wie beim Alaun, doch ist die Auslöschung hier nicht so vollständig wie dort; es bleiben immer noch einige schwach gefärbte Flecken übrig, also Stellen, die von der sonst herrschenden Gesetzmässigkeit der Lage der Elasticitätsaxen (senkrecht und parallel zu den Randkanten der Platte) abweichen.

»Interessant sind die Erscheinungen, wenn man die Krystalle parallel ihrer breiten Auflagerungsfläche allmählich dünner schleift, und mit abnehmender Dicke immer wieder zwischen gekreuzten Nicols beobachtet. In drei abwechselnd gelegenen Sectoren wird dann die Doppelbrechung rasch schwächer. Drei von den sechs Randkanten der Platte sind Octaëderkanten, die drei dazwischenliegenden aber verzerrte Octaëderecken oder Combinationskanten $O : \infty O \infty$ (111 : 001). Die drei Sectoren sind es nun, in welchen die Stärke der Doppelbrechung beim Dünnerschleifen der Krystalle rasch abnimmt, was sich zunächst in der Weise äussert, dass die Farben dieser drei Sectoren sich ändern und am Rande der Platte mit dem Roth I. Ordnung beginnen, während die Farben der drei den Octaëderkanten anliegenden Sectoren merklich dieselben bleiben und nach wie vor mit dem Grün III. Ordnung beginnen. Bei fortgesetztem Dünnerschleifen der Platte, bis etwa 1 mm Dicke, hören die drei den Kanten $O : \infty O \infty$ (111 : 001) anliegenden Felder überhaupt auf, farbig zu sein und zeigen nur noch das Hellblaugrau I. Ordnung. Auch in den andern drei Sectoren haben sich Farben höherer Ordnung nur noch an den Rändern erhalten; nach der Mitte zu ist gleichfalls nur der hellblaugraue Ton vorhanden. Macht man die Platte noch dünner, so ziehen sich die Farben immer schmäler an den drei Octaëderkanten zusammen, und die Aufhellung in den übrigen Theilen der Platte ist eine sehr geringe. Schaltet man nun aber ein Gypsblättchen vom Roth der I. Ordnung ein, so erscheint die Platte gelb und blau gefleckt, ein Beweis, dass immer noch eine merkliche Doppelbrechung vorhanden ist.

»Aus diesen Erscheinungen muss man schliessen, dass bei den untersuchten Krystallen des salpetersauren Bleies

1) die Doppelbrechung von der Mitte nach der Oberfläche zunimmt, und

2) dass die Stärke der Doppelbrechung in den Sectoren octaëdrischer Platten verschieden ist, je nachdem sie an einer Octaëder- oder Combinationskante $O : \infty O \infty$ (111 : 001) liegen.«

Die mittleren Partien der dünner geschliffenen Platten werden bei gekreuzten Nicols dunkel, aber nicht, wie Klocke zuerst glaubte, weil sie einfachbrechend, sondern, wie er später (4) gefunden hat, weil sie optisch einaxig sind und die optische Axe senkrecht zur Plattenebene ist. Das Axenbild im convergenten Licht erscheint erst dann, wenn die Krystalle so dünn geschliffen sind, dass die Mitte der Platte und drei abwechselnde Felder die farbigen Streifen verloren haben und im Stauroskop schwarz geworden sind.

»In der Mitte derselben ist das Bild entschieden einaxig; verschiebt man die Platte in der Richtung der drei dunklen Felder, so wird es zweiaxig mit nach dem Rande etwas zunehmendem Axenwinkel, ähnlich wie ich es von Idokras und Apophyllit beschrieben habe. In der Nähe der Ränder verschwindet aber das Bild. Der Axenwinkel ist klein, wesentlich kleiner als am Alaun; die Trace der Ebene der optischen Axen steht senkrecht zu den Randkanten.«

Durch diese Beobachtungen von F. Klocke ist das Verhalten octaëdrischer Krystalle von Bleinitrat in Platten parallel ihrer Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ im wesentlichen klar gelegt; die Untersuchungen von J. Morel (7. 8) enthalten nichts neues, und Verfasser hat nur wenig hinzuzufügen.

Die Krystalle von Bleinitrat zeigen die beschriebenen Erscheinungen, wenn sie isomorphe Beimischung enthalten; in den von Klocke benutzten konnte R. Brauns (5) Baryumnitrat nachweisen. Dieselbe Beimischung enthalten die vom Verfasser zu seinen Untersuchungen gezogenen Krystalle. In diesem Falle, oder auch, wenn dem Bleinitrat Strontiumnitrat isomorph beigemischt ist, ist in jedem der sechs oder drei Sectoren, in welche eine octaëdrische Platte $\parallel O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ zerfällt, die kleinste optische Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante, während in isomorphen Mischkrystallen von Baryum- und Strontiumnitrat die kleinste optische Elasticitätsaxe der Randkante parallel ist.

Besonderes Interesse verdient das verschiedene Verhalten der abwechselnden Sectoren: die von den Octaëderkanten $O:O$ ausgehenden sind stärker doppelbrechend als die, welche von den Combinationskanten $O:\infty O\infty$ ausgehen; letztere erscheinen in dünner geschliffenen Platten im parallelen Licht und bei gekreuzten Nicols schwarz wie die Mitte (Fig. 61, Taf. III). Das Axenbild, welches bei convergentem Licht in der Mitte zum Vorschein kommt, verschwindet nach den Rändern hin. Dies schon von Klocke beschriebene Verhalten tritt nach meinen Beobachtungen dann ein, wenn Würfelflächen an den Krystallen vorhanden und von dem Schliff durchschnitten sind; die von ihnen ausgehenden Sectoren sind einfachbrechend. Dasselbe Verhalten wird uns in den Schliffen nach den seitlichen Octaëderflächen wieder begegnen.

Scheinbar analog verhalten sich octaëdrische Platten aus Krystallen, an denen keine Würfelflächen vorhanden sind. (Solche Krystalle haben Klocke nicht vorgelegen.) Drei Sectoren sind stärker doppelbrechend, als die drei hiermit abwechselnden; die ersteren können z. B. das Grün der II. Ordnung zeigen, während die andern nur das Grau der I. Ordnung zeigen, obwohl die Krystalle ringsum gleich dick sind. Es ist eben die Doppelbrechung in den von dem einen Tetraëder ausgehenden Pyramiden stärker als in jenen, welche vom andern Tetraëder ausgehen. Dies auffallende Verhalten steht ganz in Übereinstimmung mit dem, was uns das Studium der Pyritoëderschliffe lehren wird, dass nämlich mit dem Charakter der Fläche Stärke und Charakter der Doppelbrechung sich ändern kann.

Die Auslöschung in den einzelnen Sectoren erfolgt parallel und senkrecht zu den Randkanten derselben, aber nur dann, wenn die Randkanten Durchschnittslinien mit den seitlichen Octaëder- oder Würfelflächen sind. Wenn

sie aber Durchschnittslinien mit Pyritoëderflächen sind, so findet in den von diesen ausgehenden Sectoren schiefe Auslöschung statt, indem die Auslöschungsrichtungen mit der Combinationskante $O : \frac{\infty O 2}{2}$ einen Winkel von 60° bezw. 30° bilden (Fig. 61 *a*). Dies auffallende Verhalten findet Bestätigung und Erklärung in dem Verhalten der Pyritoëderschliffe, das wir später kennen lernen werden. Es genüge hier die Bemerkung, dass eine optische Axe schief zu den Pyritoëderflächen austritt und die Ebene der optischen Axen in die Richtung der Höhenlinie dieser Flächen fällt. Auf den Octaëderflächen muss daher gegen die Combinationskante mit dem Pyritoëder schiefe Auslöschung stattfinden.

Auch die Lage der optischen Elasticitätsaxen ist in den diesen Kanten anliegenden Theilen abweichend (Fig. 61 *a*); während in den andern Sectoren die kleinste optische Elasticitätsaxe senkrecht zu den Randkanten ist, ist hier die grösste Elasticitätsaxe gegen die Randkante hin gerichtet, in Übereinstimmung mit der Lage der Elasticitätsaxen innerhalb der Pyritoëderflächen, wo die kleinste Elasticitätsaxe in die Höhenlinie fällt.

Die Doppelbrechung in dem von den Pyritoëderflächen ausgehenden Zwickel ist viel stärker als in den andern Sectoren, was man namentlich an dünner geschliffenen Platten deutlich sieht. Wenn diese so dünn sind, dass sie in allen übrigen Theilen nur noch das Graublau der I. Ordnung zeigen, leuchten die von den Pyritoëderflächen ausgehenden Sectoren noch in dem Blau und Grün der II. Ordnung.

Wenn die Pyritoëderflächen gross entwickelt sind und mit der oberen Octaëderfläche zum Durchschnitt kommen, so erweisen sich die benachbarten Theile der angrenzenden, von Octaëder- oder Würfelflächen ausgehenden Sectoren in ihrem optischen Verhalten immer mehr oder weniger gestört, d. h. es findet in ihnen unregelmässige und ungleichmässige Auslöschung statt, was namentlich bei nicht dünner geschliffenen Krystallen auffällt. Ein Präparat, welches diese Erscheinungen zeigt, ist in Fig. 61 *a* dargestellt. Die Platte ist der oberen Octaëderfläche (111) parallel, die Begrenzung wird von den Durchschnittskanten von Octaëder zu Pyritoëder und Würfel gebildet. Geht eine der drei Kanten $O : \infty O \infty$ einer Schwingungsrichtung der Nicols parallel, z. B. die untere, so befindet sich das gegenüberliegende, von einer Pyritoëderfläche ausgehende Feld in der Auslöschungslage; die beiden andern von den Pyritoëderflächen ausgehenden Felder leuchten in lebhaften Interferenzfarben, die zwischen ihnen liegenden Theile sind nur wenig hell. Nach Einschaltung des Gypsblättchens steigen die Farben in dem (in Fig. 61 *a*) rechts liegenden Feld und fallen in dem andern. Hieraus ergiebt sich die in Fig. 61 *a* angegebene Lage der Elasticitätsaxen. Zugleich sieht man, dass von jedem dieser drei Felder ein schmaler doppelbrechender Streifen sich längs der rechts benachbarten Würfelkante hinzieht, welcher mit dem Feld gleiche Auslöschungslage hat. Die Mitte und die zwischenliegenden Theile erscheinen unregelmässig gefleckt.

Einzelne auf einer Octaëderfläche gewachsene und nach dieser besonders dünntafelige Krystalle zeigen bisweilen ohne weiteres dieselben Erscheinungen, wie die dünner geschliffenen Platten, d. h. sie sind in der Mitte bei gekreuzten Nicols im parallelen Licht dunkel, im convergenten Licht erscheint das schwarze Kreuz so scharf und deutlich, dass man mit einem $\frac{1}{4}\lambda$-Glimmerblättchen den optischen Charakter als positiv mit Sicherheit feststellen kann. Gegen den Rand hin sind die Platten häufig zweiaxig mit verschiedener Grösse des Axenwinkels.

Platten parallel den seitlichen Octaëderflächen.

Diese Platten verhalten sich scheinbar anders als die parallel der Auflagerungsfläche und sind unter einander verschieden, je nachdem Würfelflächen an dem Krystall ausgebildet sind oder nicht. Nach meinen Beobachtungen fehlen in der Regel die Würfelflächen und sind die Krystalle rein octaëdrisch, wenn sie zum grösseren Theil aus Baryumnitrat bestehen und nur etwa 10—20 % Bleinitrat enthalten. Leider aber bekommt man wegen der schweren Löslichkeit des Baryumnitrats nur kleine Krystalle, die selten so klar sind, wie die an Baryumnitrat armen, aber auch von Würfelflächen begrenzten Krystalle.

Der grösste Durchmesser der zur Untersuchung benutzten rein octaëdrischen Krystalle betrug 2—3 mm; ihre Dicke kaum 1 mm; die parallel den seitlichen Octaëderflächen geschnittenen Platten haben daher nur geringe Grösse. Sie haben im Durchschnitt in der Regel die Form von gleichseitigen Dreiecken, durch starke »Verzerrung« kann die eine oder andere Ecke zu einer mehr oder weniger langen Kante werden.

Im parallelen polarisirten Licht hebt sich ein Mittelfeld deutlich von drei randlichen Streifen ab (Fig. 62, Taf. III); das Mittelfeld bleibt in allen Lagen ziemlich gleichmässig dunkel, während die randlichen Streifen bis zum Roth der I. Ordnung gehende Interferenzfarben zeigen. Jeder Streifen löscht parallel und senkrecht zur äusseren Kante aus, die kleinste optische Elasticitätsaxe ist normal zu dieser.

Im convergenten Licht giebt das Mittelfeld das schwarze Kreuz einaxiger Krystalle, aber wegen der Kleinheit und Dünne der Platten nicht so deutlich wie die gleich zu beschreibenden, aus den grösseren Krystallen hergestellten Platten; der optische Charakter kann aber doch noch mit einem $\frac{1}{4}\lambda$-Glimmerblättchen[1]) als positiv festgestellt werden.

In einigen Platten zeigte das Mittelfeld im parallelen Licht etwas lebhaftere Einwirkung, es erschien fleckig, im Graublau der I. Ordnung, löschte parallel zur Durchschnittskante mit der oberen Octaëderfläche 111 aus, und die grösste optische Elasticitätsaxe war normal zu dieser Kante (Fig. 63). In dem an-

[1]) In diesen Fällen benutzt man mit grossem Vortheil statt des Glimmerblättchens ein Gypsblättchen vom Roth I. Ordnung nach der von F. Rinne (N. Jb. 1891, II. p. 21) angegebenen Methode.

stossenden, nach 111 zu liegenden randlichen Streifen aber ist die grösste optische Elasticitätsaxe parallel zu dieser Kante, also gerade umgekehrt wie im Mittelfeld. Nach Einschaltung eines Gypsblättchens vom Roth I. Ordnung erscheint in einer bestimmten Stellung das Mittelfeld im Gelb der I. Ordnung, der nach 111 liegende Streifen aber blau. Diese Erscheinung ist nicht mit der eigentlichen Zonenstructur, die wir am Alaun und Granat werden kennen lernen, zu verwechseln, sondern sie beruht darauf, dass der randliche Streifen zur benachbarten Fläche gehört, und nur das Mittelfeld derjenigen Fläche entspricht, zu welcher parallel der Schnitt gelegt ist. Die Untersuchung im convergenten Licht ergiebt, dass das Mittelfeld optisch zweiaxig und die Ebene der optischen Axen normal zur Kante mit 111 ist; die erste Mittellinie ist senkrecht zur Oberfläche und von positivem Charakter, wie man mit einem $\frac{1}{4}\lambda$-Glimmerblättchen feststellen kann. Die kleinste optische Elasticitätsaxe ist folglich normal zur Platte und die grösste muss in der Ebene der optischen Axen, also normal zur Kante mit 111 liegen, was wir mit Hülfe des Gypsblättchens auch gefunden hatten.

Wenn ausser den Octaëderflächen auch noch Würfelflächen auftreten, so wird das optische Verhalten der parallel den seitlichen Octaëderflächen geschnittenen Platten in eigenthümlicher Weise geändert. Wir betrachten drei Gruppen von Platten, die sich weniger durch ihr optisches Verhalten als durch ihre Lage am Krystall unterscheiden: in den beiden ersten Gruppen ist die Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$, wir betrachten Platten

a) parallel einer seitlichen oberen,

b) parallel einer seitlichen unteren Octaëderfläche;

in der dritten Gruppe ist

c) Auflagerungsfläche $\infty O \infty$ $(00\bar{1})$; wir betrachten Platten parallel einer seitlichen oberen Octaëderfläche.

a) Begrenzungsflächen der Krystalle: $O(111)$, $\infty O \infty$ (100), bisweilen noch $\frac{\infty O 2}{2}$ (210). Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$.

Platten parallel einer seitlichen oberen Octaëderfläche.

Im parallelen polarisirten Licht beobachtet man drei dunkle Felder, welche von den durchschnittenen Würfelflächen ausgehen, die Breite der Kante haben und in der Mitte der Platte sich zu einem dunklen, nur hier und da schwach blaugrau gefleckten, breiten Felde vereinigen (Fig. 64, Taf. III). Die zwischen diesen Feldern liegenden, von den Octaëderflächen ausgehenden Partien dagegen erscheinen farbig, und die Farben steigen von innen nach aussen von dem Graublau der I. Ordnung bis zu denen der II. und III. Ordnung. Die Auslöschung erfolgt in jedem Feld parallel und senkrecht zur Randkante, die kleinste optische Elasticitätsaxe ist normal zu dieser Kante. Die Grenzen zwischen den dunklen und hellen Feldern sind scharf und ziemlich geradlinig.

Im convergenten Licht erweist sich die Mitte der Platte als optisch einaxig. Es erscheint das schwarze Kreuz, welches bei nicht zu dünnen Platten noch von einem gelben Ring umgeben ist. Bei dem Drehen bleibt das schwarze Kreuz unverändert centrisch stehen, öffnet sich auch nicht zu Hyperbeln. Die Mitte der Platte verhält sich also wie ein optisch einaxiger Krystall, die optische Axe ist senkrecht zur Oberfläche. Das schwarze Kreuz ist so scharf, dass man nach Einschaltung eines $\frac{1}{4}\lambda$-Glimmerblättchens die charakteristischen Veränderungen gut verfolgen und den optischen Charakter als positiv feststellen kann.

An denjenigen Stellen, wo im parallelen Licht blaugraue Interferenzfarben auftreten, zeigt sich das Axenbild gestört und schwache Zweiaxigkeit. Die Störungen finden sich hauptsächlich in der Nähe der andern Felder.

Wenn man nun die Mitte einstellt, das Präparat festklemmt und bei convergentem Licht es mit Hülfe der Mikrometerschraube so fortschiebt, dass die dunklen, nach den Würfelflächen gehenden Bänder unter dem Gesichtsfeld herziehen, so sieht man zuerst noch das unveränderte schwarze Kreuz, dann aber verschwindet es, und die nach den Würfelflächen zu liegenden Theile zeigen keinerlei Einwirkung auf das polarisirte Licht, weder jetzt auf das convergente, noch vorher auf das parallele, so dass man diese von den Würfelflächen ausgehenden Felder nur für einfachbrechend halten kann.

In den randlichen, von den Octaëderflächen ausgehenden Feldern tritt im convergenten Licht ein excentrischer Kreuzesarm aus.

b) Die Krystalle sind wie vorher begrenzt von $O(111)$, $\infty O \infty(100)$ und bisweilen von $\frac{\infty O 2}{2}(210)$. Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$.

Platten parallel einer seitlichen unteren Octaëderfläche.

Im parallelen polarisirten Licht erscheinen die Platten in drei Theile getheilt: in jeder Ecke liegt ein lebhaft polarisirendes dreieckiges Feld, und zwischen beiden ein breiter, scharf abgegrenzter, dunkler Streifen, welcher in der Breite der durchschnittenen Würfelfläche durch die ganze Platte hindurchgeht (Fig. 65, Taf. III).

In den dreieckigen Feldern steigen die Polarisationsfarben von der Auflagerungsfläche nach aussen bis zum Grün der II. Ordnung an, und die Streifen gehen der octaëdrischen Randkante parallel. Auslöschung tritt ein, wenn die letztere Kante parallel oder senkrecht zu einer Schwingungsrichtung der Nicols ist. Die kleinste optische Elasticitätsaxe ist wieder senkrecht zu dieser Kante.

Das rechteckige Mittelfeld, welches nach aussen auf der einen Seite von der Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$, auf der entgegengesetzten von einer Würfelfläche begrenzt wird, erscheint im parallelen Licht dunkel oder nur wenig unregelmässig grau gefleckt und hebt sich scharf von den beiden andern Feldern ab. Im convergenten Licht beobachtet man in den der Auflagerungsfläche zunächst liegenden Theilen ein scharfes schwarzes Kreuz, welches bei

Drehen des Präparates unverändert stehen bleibt. Es ist wieder so deutlich, dass man mit einem $\frac{1}{4}\lambda$-Glimmerblättchen den optischen Charakter als positiv mit aller Sicherheit feststellen kann. Mehr nach den Eckfeldern hin finden sich auch zweiaxige Stellen, nach der Würfelfläche hin ist im convergenten Licht wieder nichts deutliches zu sehen, die Masse ist hier einfachbrechend. Diese einfache Lichtbrechung in den von den Würfelflächen ausgehenden Feldern ist aber hier und in den andern Fällen nur dann deutlich zu beobachten, wenn die Würfelfläche wirklich durchschnitten ist. Wenn dies nicht der Fall ist, so lagern noch andere Schichten darüber, welche doppelbrechend sind und die Verhältnisse verwischen. Am besten sucht man daher zu diesen Präparaten solche Krystalle aus, bei denen die Würfelflächen nicht zu klein sind.

Wie man sieht, unterscheiden sich die Platten parallel den unteren seitlichen Octaëderflächen sehr auffallend von den parallel den oberen seitlichen Octaëderflächen; bei diesen gingen drei breite, im parallelen polarisirten Licht dunkle Bänder nach der Mitte, hier ist nur ein solches Band, welches aber durch die ganze Platte hindurchgeht. Es fehlen hier die beiden andern Bänder und es fehlt das dritte der doppelbrechenden von den Octaëderflächen ausgehenden Felder, welches hier von der Auflagerungsfläche ausgehen müsste.

Diese Verschiedenheiten erklären sich durch bestimmte Wachsthumseigenthümlichkeiten.

Die beiden einfachbrechenden Felder fehlen, weil die Würfelflächen nicht vorhanden sind, von denen sie ausgehen würden. Die Würfelflächen würden der Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ unmittelbar anliegen; wir haben aber schon darauf hingewiesen, dass die untergeordnet auftretenden Flächen von $\infty O \infty$ und $\frac{\infty O 2}{2}$ in der Nähe der Auflagerungsfläche sehr klein sind oder ganz verschwinden; dies ist hier der Fall. Das Auftreten und die Zahl der einfachbrechenden Felder hängt also von der Zahl der Würfelflächen ab und diese von der Art des Wachsthums.

Die beiden dreieckigen doppelbrechenden Felder gehen von den beiden seitlichen Octaëderflächen aus, das dritte Feld müsste von der Auflagerungsfläche ausgehen, ist aber nicht vorhanden, weil sich unten an die Auflagerungsfläche keine Substanz absetzt. Der optisch einaxige Theil gehört zu der Octaëderfläche, zu welcher parallel der Schliff angefertigt ist.

Das verschiedene optische Verhalten der oberen und unteren seitlichen Octaëderflächen beruht demnach lediglich auf Wachsthumseigenthümlichkeiten; es ist die Folge von bestimmten Vorgängen während des Wachsthums, welche zu einer an der oberen und unteren Krystallhälfte verschiedenen Formenausbildung führen; von dieser aber hängt das optische Verhalten ab und ändert sich mit ihr.

c) Die Krystalle sind begrenzt wie bei a) und b). Aber **Auflagerungsfläche** $\infty O \infty$ (00$\bar{1}$).

Platten parallel einer seitlichen oberen Octaëderfläche.

Die Auflagerungsfläche ist hier eine andere — $\infty O \infty$ (00$\bar{1}$) — wie bei den vorigen, das optische Verhalten aber im parallelen und convergenten Licht im wesentlichen dasselbe wie bei den unter a beschriebenen Platten.

Im parallelen Licht treten wieder drei dunkle, von den durchschnittenen Würfelflächen ausgehende, in der Mitte zusammenstossende Felder hervor, und zwischen ihnen lebhaft polarisirende, dreieckige oder trapezförmige Felder, welche von den durchschnittenen Octaëderflächen ausgehen (Fig. 66, Taf. III).

Im convergenten Licht giebt die Mitte der Platte ein deutliches schwarzes Kreuz, welches bei dem Drehen der Platte unverändert bleibt; der optische Charakter lässt sich wieder sehr gut als positiv feststellen.

Die von den Würfelflächen ausgehenden Felder wirken weder auf das parallele noch auf das convergente Licht und müssen für einfachbrechend erklärt werden.

Aus den mitgetheilten Beobachtungen geht hervor, dass alle Octaëderflächen im wesentlichen sich gleich verhalten: **Jede der Oberfläche entnommene Platte verhält sich wie die Basis eines optisch einaxigen Krystalls, die optische Axe ist immer senkrecht zur Octaëderfläche.**

Ein Unterschied scheint nur darin zu bestehen, dass die natürlichen, nicht bearbeiteten Krystalle, senkrecht zur Auflagerungsfläche betrachtet, von dem Rand bis zur Mitte gehende Feldertheilung zeigen (vergl. Fig. 60, Taf. III), während dies in den parallel den seitlichen Octaëderflächen geschnittenen Platten nicht in dem Grade der Fall ist. Diese Verschiedenheit erklärt sich aber einfach aus der Art des Wachsthums.

Die Krystalle sind auf dem Boden einer Krystallisationsschale liegend gewachsen, und ein auf dem Boden des Krystallisationsgefässes liegender Krystall wächst bekanntlich in der Richtung der seitlichen Flächen stärker, als in der der Auflagerungsfläche und wird darum nach dieser tafelig. Die Anlagerung der zugeführten Substanz erfolgt also besonders parallel den seitlichen Flächen, nur in geringer Menge parallel der oberen Fläche (111). Die seitlichen Octaëderflächen verhalten sich wie die Basis eines hexagonalen Krystalls, d. h. die optische Axe ist normal zur Oberfläche einer jeden. Die obere Fläche (111) und die Auflagerungsfläche ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) schneiden die seitlichen unter dem Winkel von 109° 28′ 16″, bilden also mit der optischen Axe einer jeden einen Winkel von 19° 28′ 16″. Es müssen also in Platten parallel der Auflagerungsfläche O (111) im polarisirten Licht, je nachdem drei oder sechs Octaëderflächen von der oberen Fläche durchschnitten werden, drei oder sechs auf das polarisirte Licht wirkende und von den seitlichen Octaëderflächen ausgehende Felder auftreten und um so weiter in das Innere sich erstrecken, je mehr das Wachsthum nach den seitlichen Flächen das nach der Auflagerungsfläche überwog. Man findet Krystalle, in denen auch durch Dünnerschleifen parallel der Auflagerungs-

fläche kaum ein einaxiger Kern hervortritt, während, wie wir gesehen haben, andere Krystalle, ohne dünner geschliffen zu sein, so wie sie aus der Lösung kommen, in der Mitte der Auflagerungsfläche einaxig sind.

Dass in der That die tiefe Feldertheilung in den nach $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ tafeligen Krystallen auf die Art des Wachsthums zurückzuführen ist, kann man durch einen einfachen Versuch bestätigen.

Man nehme einen Krystall, der auf einer Octaëderfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ liegend gewachsen ist und der im polarisirten Licht die gewöhnliche Feldertheilung (sechs Sectoren) zeigt, und stelle ihn auf eine der seitlichen Flächen in die Lösung. Die frühere Auflagerungsfläche wird hierdurch zur seitlichen Fläche, wächst stärker wie vorher, und nach etwa 24 Stunden ist der Krystall nach allen Richtungen gleichmässig ausgebildet. Wenn man nun jetzt die parallel der früheren Auflagerungsfläche neu angesetzte Schicht herunterschneidet und untersucht, so findet man, dass sie keine Feldertheilung zeigt wie jene, sondern sich ebenso verhält, wie eine seitliche Octaëderfläche, d. h. sie ist im parallelen polarisirten Licht fast dunkel, erweist sich im convergenten Licht als einaxig in der Mitte, schwach zweiaxig nach dem Rande hin.

Das Zustandekommen der tiefen Feldertheilung in Platten parallel der Auflagerungsfläche hängt demnach von der Lage des Krystalls während des Wachsthums ab und kann als eine Wachsthumserscheinung bezeichnet werden, und es gilt, was wir schon oben gesagt haben, dass alle Octaëderflächen sich gleich verhalten.

Der mitgetheilte Versuch beweist zugleich, dass die doppelbrechenden Theile nicht hexagonal sind, denn es wachsen ja Schichten, in denen die optischen Axen (parallel den Flächennormalen) unter einem Winkel von 70° 31′ 44″ gegen einander geneigt sind, parallel über einander fort. Die Krystalle können eben nur regulär sein.

Versuchen wir mit Vernachlässigung aller dieser Wachsthumserscheinungen und der secundären Störungen das Verhalten der octaëdrischen Krystalle mit wenigen Worten zu charakterisiren, so können wir dies dahin zusammenfassen:

Die parallel den Octaëderflächen abgelagerten Schichten sind optisch einaxig; ein ideales Octaëder würde aus acht optisch einaxigen Individuen von positivem Charakter bestehen, deren Basis je eine Octaëderfläche ist und deren Spitzen in der Mitte des Krystalls liegen. Das Octaëder ist krystallographisch die Combination zweier Tetraëder, die zu dem einen Tetraëder gehörenden Individuen sind etwas stärker doppelbrechend, als die vier, welche zum andern Tetraëder gehören.

Ich bemerke aber ausdrücklich, dass hiermit nur das optische Verhalten charakterisirt werden soll, dass ich weit davon entfernt bin, diese Mischkrystalle etwa als Zwillingsbildungen hexagonaler Krystalle aufzufassen. Wir werden später Gelegenheit haben, darauf zurückzukommen.

Platten parallel der Auflagerungsfläche $\infty O \infty$ (00$\bar{1}$).

Wir folgen hier zuerst wieder der Beschreibung von F. Klocke:

»Von einigen Krystallen, welche auf einer Hexaëderfläche liegend sich ausgebildet hatten, brauchte ich nur die obere octaëdrische Spitze parallel der Auflagerungsfläche wegzuschleifen, um sehr brauchbare hexaëdrische Platten zu erhalten. Einige zerfielen in vier parallel den Randkanten buntgestreifte Sectoren, ganz ähnlich denjenigen der octaëdrischen Platten. Die Lage der optischen Elasticitätsaxen war auch hier wieder senkrecht und parallel zu den Randkanten (Fig. 67, Taf. III), so dass alle vier Felder eine gemeinsame Dunkelstellung $\|\infty O$ (101) hatten, doch blieben einige schwach gefärbte, in dieser Stellung nicht vollständig auslöschende Flecke übrig.

»Das Material erlaubte keine grosse Variation der Plattendicke; besondere Erscheinungen traten beim Dünnerschleifen nicht auf; die vier Felder, gleichwerthigen Combinationskanten $\infty O \infty : O$ (001 : 111) anliegend, verhielten sich unter einander gleich.

»Einige Platten zeigten anstatt der parallel den Rändern buntgestreiften Sectoren eine regelmässige, ausgezeichnet schöne Interferenzfigur, wie man sie bisher nur am gehärteten Glase kannte. Stellt man den Krystall so, dass seine beiden verticalen Haupt-Symmetrieebenen in die Nicolhauptschnitte des Mikroskops fallen, so zeigt die Figur einen vierarmigen schwarzen Stern, dessen Arme nach den Eckpunkten der Platte gehen. Die an ihn angrenzenden Partien gehen durch Hellblau in Weiss über, und die vier Felder zwischen den Strahlen des Sternes zeigen gleichmässig isochromatische Curven von dem Verlauf, den ..... (Fig. 68, Taf. III) andeutet. Dieselben beginnen mit dem Gelblichweiss der I. Ordnung und steigen nach den Rändern bis zum Roth der II. Ordnung.

»Bei parallelen Nicols wird der schwarze Stern hell und die Farben der vier Felder complementär. Lässt man die Nicols gekreuzt und dreht die Platte um 45° aus der angegebenen Stellung, so verschwindet das Bild und die Platte erscheint nur schwarz und bläulich gefleckt.

»Es ist dies meines Wissens der erste Fall, dass an einem Krystall (in parallelem Licht) eine derartige, an den Ort gebundene und mit der Platte verschiebbare Interferenzfigur beobachtet wurde. Die Ansicht von Marbach und von Reusch, dass die Doppelbrechung in regulären Krystallen durch einen Spannungszustand derselben hervorgerufen werde, findet durch diese Beobachtung eine wesentliche Stütze, während das Zustandekommen einer solchen Figur durch Mallard's Hypothese nicht erklärbar ist.«

So wie hier beschrieben verhalten sich die Krystalle, wenn die seitlichen Würfelflächen von der Schlifffläche nicht durchschnitten oder überhaupt nicht vorhanden sind; wenn sie aber ausgebildet sind und die Krystalle so dünn geschliffen werden, dass die seitlichen Würfelflächen getroffen werden, so geht von ihnen immer ein Feld aus, welches fast gar nicht auf das Licht wirkt, und sich hierdurch von den andern auffallend abhebt. Wir stossen hier

wieder auf dieselbe Erscheinung wie bei den octaëdrischen Platten, wo ja auch die von den Würfelflächen ausgehenden Felder weder auf das parallele noch auf das convergente Licht irgendwie merklich einwirkten. Jedoch verhalten sich in den auf $00\bar{1}$ gewachsenen Krystallen die von den Würfelflächen ausgehenden Felder etwas anders, als in den auf $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ gewachsenen Krystallen.

Wenn von beiden Seiten soviel weggeschliffen wird, dass die seitlichen Würfelflächen von den beiden Schliffflächen durchschnitten sind, so bemerkt man bei gekreuzten Nicols in der Diagonalstellung der Platte an jeder Würfelkante anliegend ein dreieckiges, ziemlich dunkles Feld und in der Richtung der Diagonalen eine dunkle, bisweilen geknickte Linie (Fig. 69). Wenn eine oder mehrere der vier seitlichen Würfelflächen am Krystall nicht ausgebildet oder sehr klein sind, so fehlen auch die dunklen Felder.

Diese von den Würfelflächen ausgehenden und oft bis in die Mitte sich erstreckenden Felder haben häufig eine sehr eigenthümliche Structur. Sie sind nicht einfachbrechend, sondern bestehen aus doppelbrechenden, den Würfelkanten parallel gehenden Lamellen, welche von den benachbarten, den Octaëderflächen anliegenden Sectoren ausgehen und keilförmig in einander und über einander greifen (Fig. 70): nach ihrer Breite kann man alle Übergänge verfolgen von breiten Lamellen bis zu den feinsten Strichen. Wenn man das Gypsblättchen einschaltet, so wird ein Theil der Lamellen blau, wie der eine benachbarte Sector, der andere Theil wird gelb, wie der zweite Sector, und ihre Auslöschung erfolgt gleichzeitig mit diesen Sectoren, nicht etwa wenn die Würfelkante, welcher sie parallel sind, mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt. Wenn also ein von einer Octaëderfläche ausgehendes Feld in der Auslöschungslage sich befindet, so ist auch ein Theil der Lamellen dunkel, die andern sind hell und werden erst dunkel, wenn das von der andern Octaëderfläche ausgehende Feld in die Auslöschungslage kommt. Man sieht hierbei deutlich, dass die Lamellen mit diesen Feldern zusammenhängen, so dass es den Anschein hat, als ob der Krystall in der Richtung der Würfelflächen aus abwechselnden Lagen octaëdrischer Schichten bestünde. Da nun in den beiden benachbarten von Octaëderflächen ausgehenden Feldern die gleichnamigen optischen Elasticitätsaxen nicht parallel sind, so wechseln in den von den Würfelflächen ausgehenden Feldern Lamellen mit einander ab, in denen die gleichnamigen optischen Elasticitätsaxen gekreuzt sind; und wenn diese sich innig durchdringen, so müssen sie in der Richtung der seitlichen Würfelflächen, wenn das Licht senkrecht zu deren Oberfläche auffällt, einander compensiren, und einfache Lichtbrechung muss die Folge sein. Es ist wohl möglich, dass die einfache Lichtbrechung, welche Platten parallel den seitlichen Würfelflächen im Bezirk dieser Fläche zeigen, durch eine solche Compensation entstanden ist.

Es ist zu bemerken, dass sich diese keilförmig in einander greifenden Lamellen in den von den Würfelflächen ausgehenden Feldern nur an den Krystallen finden, welche auf einer Würfelfläche liegend gewachsen sind, nicht in den andern. In den Platten parallel den Octaëderflächen haben wir auch

von den Würfelflächen ausgehende einfachbrechende Felder beobachtet, aber immer waren ihre Grenzen gegen die benachbarten Felder scharf, niemals zeigten sie eine ähnliche Streifung; sie können daher nur als wahrhaft einfachbrechend bezeichnet werden.

Es hat ganz den Anschein, als ob die auf 001 gewachsenen Krystalle nicht in der Richtung der seitlichen Würfelflächen gewachsen seien, sondern nur in der Richtung der Octaëderflächen, und dass die Substanz bald von der einen, bald von der andern Octaëderfläche übergegriffen habe und durch diesen Wechsel die Würfelflächen entstanden seien.

Platten parallel den seitlichen Würfelflächen.

Diese Platten verhalten sich gleich, einerlei, ob der Krystall auf einer Octaëder- oder auf einer Würfelfläche liegend gewachsen war.

In der Diagonalstellung (Fig. 71, Taf. III) hebt sich bei gekreuzten Nicols ein dunkles, einfachbrechendes Mittelfeld von quadratischer oder oblonger Form von den randlichen, hell polarisirenden Theilen scharf ab. Die Grösse des Mittelfeldes ist immer geringer als die Oberfläche der betreffenden Würfelfläche, die Randpartien sind doppelbrechend und bilden den Kanten parallel gehende Felder, welche ganz allmählich in die einfachbrechende Mitte übergehen. In jedem Feld ist die kleinste optische Elasticitätsaxe wieder senkrecht zur Randkante.

In convergentem Licht zeigt das Mittelfeld keinerlei Erscheinungen.

Ein anderes Verhalten zeigen die dickeren würfeligen Platten an den Stellen, wo Pyritoëderflächen vorhanden sind (Fig. 72). In parallelem Licht werden diese Stellen in keiner Lage ganz dunkel, sondern zeigen immer eine gelblichgraue Farbe; in convergentem Licht erscheint da, wo das Licht durch eine Pyritoëderfläche hindurchgeht, sehr schön das Bild eines senkrecht zu einer optischen Axe getroffenen zweiaxigen Krystalls. Die Hyperbel kehrt ihre convexe Seite von der Würfelfläche ab und ist von mehreren Ringen umgeben, deren Farben bis zum zweiten Grün steigen. An den Ecken, wo keine Pyritoëderflächen vorhanden sind, ist etwas ähnliches nicht zu beobachten. Da der Schliff parallel zur Würfelfläche ist und die optische Axe genau centrisch austritt, so fällt die Richtung dieser optischen Axe in den pyritoëdrischen Feldern mit der Normalen zur Würfelfläche zusammen.

Platten parallel den Pyritoëderflächen.

In diesen Schliffen unterscheidet man im polarisirten Licht ein dreiseitiges, gleichschenkeliges Mittelfeld und drei schmale Randfelder (Fig. 73, Taf. III).

Das Mittelfeld nimmt den Bezirk der Pyritoëderfläche ein, wird in seiner ganzen Ausdehnung gleichmässig hell und löscht aus, wenn die Richtung der Höhenlinie mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt. Die kleinste optische Elasticitätsaxe geht der Höhenlinie parallel. Im convergenten

Licht beobachtet man den Austritt einer optischen Axe, aber nun nicht centrisch, wie vorher bei dem Würfelschliff, sondern stark excentrisch. Die Ebene der optischen Axen würde in die Richtung der Höhenlinie fallen, dies aber ist auch die Richtung der kleinsten optischen Elasticitätsaxe; die erste Mittellinie würde also grösste optische Elasticitätsaxe sein, ihr Charakter demnach negativ. Wir haben hier die auffallende Erscheinung, dass die Krystalle in der Richtung der Octaëderflächen optisch positiv, in der Richtung der Pyritoëderflächen aber negativ sind! Etwas ähnliches ist auch an anomalen Krystallen bisher nicht beobachtet.

Die Abweichung von dem optischen Verhalten normaler Krystalle geht noch weiter.

Da die Ebene der optischen Axen in der durch die Höhenlinie der Pyritoëderfläche gegebenen Richtung liegt, und die eine optische Axe normal zu der anliegenden Würfelfläche austritt, so könnte man annehmen, dass die andere etwa normal zur andern Würfelfläche, und die erste Mittellinie dann normal zu der zwischen beiden Würfelflächen liegenden Granatoëderfläche wäre. Wäre sie aber auch schief hierzu, so sollte man doch erwarten, dass ein Schliff parallel dieser Granatoëderfläche im convergenten Licht den Austritt beider Axen zeigen würde. Dies ist aber nicht der Fall; auch in einem Schliff parallel dem Granatoëder sehen wir immer nur die eine optische Axe im Bezirk der Pyritoëderfläche austreten, von einer zweiten keine Andeutung. Die andern Partien des Schliffs gehören durchschnittenen Octaëderflächen an und verhalten sich, wie man es von der bekannten Structur dieser erwartet.

Wir können daher bezüglich des den Bezirk einer Pyritoëderfläche einnehmenden Feldes nur sagen, dass es wie optisch zweiaxig ist, dass die optische Axenebene in die Richtung der Höhenlinie fallen und der Charakter der ersten Mittellinie negativ sein würde. Die Richtung der einzigen austretenden Axe fällt mit der Normalen zur benachbarten Würfelfläche zusammen.

Von den das Mittelfeld umgebenden Randfeldern gehört das eine der durchschnittenen Würfelfläche an und ist wieder fast einfachbrechend, die beiden andern gehören den durchschnittenen Octaëderflächen an und verhalten sich wie zu erwarten: sie löschen aus, wenn ihre Randkante parallel oder senkrecht zu einer Schwingungsrichtung der Nicols ist, und die kleinste optische Elasticitätsaxe ist zur Randkante normal.

Abhängigkeit der Stärke der Doppelbrechung von der Menge der isomorphen Beimischung. Zerspringen während des Wachsthums. Verhalten gegen Druck und Erwärmen.

Es genügen schon sehr geringe Mengen isomorpher Beimischung, um Spuren von Doppelbrechung in Blei- oder Baryumnitrat hervorzurufen und deutliche Feldertheilung entsteht schon, wenn die etwa 1 mm dicken Krystalle von Bleinitrat 1 % Baryumnitrat enthalten. Die Lösung dieser Krystalle enthielt

100 Theile Bleinitrat und 2 Theile Barymnnitrat, die Krystalle nach Analyse 3,81—4,10% Baryumnitrat. Die Doppelbrechung derselben ist so stark wie die der Alaune, welche gleiche Theile von Ammoniak- und Kalialaun enthalten, d. h. sie zeigen das Hellblaugrau der I. Ordnung.

Krystalle, welche 10—20% Baryumnitrat bei 90—80% Bleinitrat oder 10—20% Bleinitrat bei 90—80% Barynmnitrat enthalten, zeigen bei einer Dicke von etwa 1 mm die Farben der III.—IV. Ordnung.

Krystalle, welche mehr Beimischung enthalten, sind immer sehr klein und zu optischen Untersuchungen nicht zu gebrauchen, weil sie durch viele Risse ganz trüb sind. Offenbar wird bei diesen Mischungen die Spannung zu stark und verhindert die Bildung grösserer Krystalle.

Die Folgen der starken Spannung kann man leicht unter dem Mikroskop erkennen. Lässt man nämlich die Mischkrystalle aus einer heissen Lösung unter dem Mikroskop krystallisiren, so sieht man häufig, dass die eben noch homogenen und klaren Krystalle Risse bekommen und zerspringen, oft mit solcher Gewalt, dass die Theile auseinander geschleudert werden.

Ein weiteres Anzeichen dafür, dass die Krystalle sich in einem Spannungszustand befinden, erblicken wir in dem Verhalten derselben beim Erwärmen.

Ein octaëdrischer Krystall, welcher in der gewöhnlichen Weise lebhaft doppelbrechend war und von innen nach aussen parallel den Randkanten Streifen von den Farben: Graublau, Gelb, Roth der I. Ordnung und Blau, Grün, Roth der II. Ordnung zeigte, wurde auf dem heizbaren Objecttisch erwärmt. Hierbei verschwanden allmählich die Farben, zuerst das Roth der II. Ordnung, Grün rückte allmählich gegen den Rand vor, verschwand, ihm folgte Blau II. und Roth I. Ordnung, und es blieb am Rand nur noch ein schmaler Streifen vom Gelb der I. Ordnung. Beim Erwärmen bis zum Zerspringen verschwindet auch noch das Gelb, die Krystalle erscheinen nur noch unregelmässig graublau gefleckt und würden vielleicht ganz einfachbrechend werden, wenn nicht durch das Erwärmen um die nie fehlenden Einschlüsse herum durch die Ausdehnung derselben neue Doppelbrechung entstünde.

Diese schwache Doppelbrechung bleibt nach dem Erkalten bestehen, die Krystalle verhalten sich wie gekühltes Glas, das auch durch allmähliches Erwärmen und Abkühlen schwächer doppelbrechend wird. Im Vergleich zu ihrer früheren Klarheit erscheinen die Krystalle nach dem Erwärmen etwas getrübt.

Verhalten gegen Druck. Ein Krystall aus einer Lösung von $100Pb(NO_3)_2$ und $2Ba(NO_3)_2$, auf $\infty O \infty$ (001) liegend gewachsen, welcher für sich im polarisirten Licht das Grau der ersten Ordnung zeigte und nach den Diagonalen in vier Felder getheilt schien, wurde mit zwei seitlichen, zu der oberen Würfelfläche senkrechten Flächen von der Lage des Granatoëders versehen und senkrecht zu diesen gepresst.

Vor dem Pressen war in jedem Feld die kleinste optische Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante; nach Einschaltung des Gypsblättchens vom Roth I. Ordnung waren die Felder blau, durch welche die Richtung der kleinsten

Elasticitätsaxe des Gypsblättchens hindurchging blau, die andern gelb. Durch das Pressen, wobei die Druckrichtung in die Richtung der kleinsten Elasticitätsaxe des Gypsblättchens fiel, wurde die Intensität des Blau immer schwächer, die des Gelb stärker; bei fortgesetztem Pressen wurden die blauen Felder roth, die Doppelbrechung in ihnen war also aufgehoben und bei weiterem Pressen werden auch diese Felder gelb. Die Lage der optischen Elasticitätsaxen ist hiermit über die ganze Platte dieselbe geworden, nur ihre Grösse ist noch verschieden. Wird der Druck aufgehoben, so wird die Doppelbrechung wieder ebenso wie vorher. Zu bemerken ist, dass die doppelbrechenden Krystalle beim Pressen sehr leicht in viele kleine Stücke zerspringen, die einfachbrechenden reinen Krystalle sind viel weniger spröd.

Einfachbrechende Krystalle werden durch Druck in derselben Weise doppelbrechend, nur fällt von Anfang an innerhalb der nur von Octaëder- und Würfelflächen begrenzten Platte die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung. Wird der Druck aufgehoben, so werden sie wieder einfachbrechend.

Da also in dem gepressten Bleinitrat die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung fällt, so verhalten sich die durch isomorphe Beimischung von Baryumnitrat doppelbrechenden octaëdrischen Krystalle wie senkrecht zu den Octaëderflächen gedehnt.

Ganz besonders bemerkenswerth und für die Erklärung des Zustandekommens der Doppelbrechung in den Mischkrystallen wichtig ist das Verhalten solcher Krystalle gegen Druck, welche auch von Pyritoëderflächen begrenzt sind. Am meisten eignen sich zu diesem Versuch Krystalle, welche auf einer Würfelfläche liegend gewachsen und nach dieser dicktafelig sind; sie sind begrenzt von $\infty O \infty$ (100), O (111) und $\frac{\infty O 2}{2}$ (210). Presst man einen solchen einfachbrechenden Krystall senkrecht zu zwei seitlichen Würfelflächen, so wird er bald doppelbrechend und in seiner Hauptmasse fällt die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung. Da aber, wo eine Pyritoëderfläche vorhanden ist, findet sich ein kleiner Bezirk, in welchem die kleinste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung fällt. Die optisch verschiedenen Bezirke sind durch ein isotropes Band getrennt, welches bei veränderter Druckstärke sich verschiebt. Bleinitrat verhält sich also gegen Druck in krystallographisch verschiedenen Richtungen verschieden. Ganz ebenso verschieden aber verhalten sich die doppelbrechenden Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat, welche positiv nach Octaëder-, negativ nach Pyritoëderflächen sind! In dieser Übereinstimmung erblicken wir einen sehr willkommenen Hinweis auf das Zustandekommen der Doppelbrechung in den regulären isomorphen Mischkrystallen. Wir kommen später (p. 253) hierauf zurück.

Fassen wir nun kurz das Resultat unserer Beobachtungen über das optische Verhalten des durch isomorph beigemischtes Baryumnitrat doppelbrechend gewordenen Bleinitrats zusammen, so ergiebt sich folgendes:

1) Die Stärke der Doppelbrechung hängt von der Menge der beigemischten Substanz ab und wächst innerhalb gewisser Grenzen mit dieser. Werden diese überschritten, so wird die Spannung zu gross, es bilden sich nur noch kleine, rissige Krystalle.

2) Die optische Structur hängt von der äusseren Begrenzung ab; von jeder Krystallfläche geht in das Innere eine Pyramide, deren Basis die Krystallfläche ist.

3) Einfachbrechend sind die Pyramiden, welche zur Basis die Würfelflächen haben; weder im parallelen noch im convergenten Licht zeigen sie in der Regel besondere Erscheinungen.

4) Doppelbrechend, optisch einaxig, positiv sind die Pyramiden, welche zur Basis die Octaëderflächen haben; die optische Axe ist jedesmal senkrecht zur Octaëderfläche. Rein octaëdrische Krystalle bestehen aus acht optisch einaxigen Individuen.

5) Doppelbrechend, optisch zweiaxig, negativ sind die Pyramiden, welche zur Basis eine Pyritoëderfläche haben. Die erste Mittellinie würde schief zur Pyritoëderfläche sein und die Ebene der optischen Axen in die Richtung der Höhenlinie dieser Fläche fallen. Die eine austretende Axe ist normal zur Richtung der anliegenden Würfelfläche.

6) Die Doppelbrechung wird geringer und verschwindet dauernd durch Erwärmen unter geringer Trübung der Krystalle.

Wenn ein Krystall von Octaëder, Würfel und Pyritoëder begrenzt und gross genug ist, so kann man aus ihm drei Präparate herstellen, welche die angegebenen Eigenschaften besitzen; alle drei Structuren, Zweiaxigkeit, Einaxigkeit und Isotropie sind an demselben Krystall entwickelt, und derselbe Krystall ist positiv nach den Octaëderflächen, negativ nach den Pyritoëderflächen!

Nach Besprechung der hierher gehörigen regulären Krystalle werden wir auf diese Verhältnisse zurückkommen.

Alaun.

Literatur.

1. D. Brewster. Ed. Trans. VIII, 1. p. 160. 1817.
2. B. Biot. Pol. lam. 1841.
3. E. Reusch. P. A. 132. p. 618. 1867.
4. E. Mallard. Anom. opt. p. 116. 1876.
5. F. Klocke. Über Doppelbrechung regulärer Krystalle. N. Jb. 1880, I. p. 56—76.
6. —— Bemerkungen uber optische Anomalien am Thallium- und Selenalaun etc. N. Jb. 1881, I. p. 158.
7. —— Axenbilder im convergenten Licht bei Alaun etc. Ber. über die Verhandlgn. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. VIII, 1881. N. Jb. 1881, II. p. 267.
8. R. Brauns. Über die Ursache der anomalen Doppelbrechung einiger regulär krystallisirender Salze. N. Jb. 1883, II. p. 104.
9. —— Einige Beobachtungen und Bemerkungen zur Beurtheilung optisch anomaler Krystalle. Diss. Marburg 1885. N. Jb. 1885, I. p. 102—110.
10. —— Über Winkelschwankungen isotroper und doppelbrechender regulärer Krystalle. N. Jb. 1887, I. p. 138—146.

Die Alaune sind ebenso wie die Nitrate zum Studium der durch isomorphe Beimischung hervorgerufenen Doppelbrechung geeignet, und beide Gruppen ergänzen sich in sehr erwünschter Weise. Vor den Nitraten haben die Alaune den Vorzug, dass sie leichter in klaren, schönen Krystallen erhalten werden können, dass sie in mannigfaltiger Weise zu isomorphen Mischkrystallen zusammenkrystallisiren und namentlich, dass sie ohne Schwierigkeit auch isomorphe Überwachsungen bilden, was bei den Nitraten nur mit Mühe und immer sehr unvollkommen zu erreichen ist. Sie stehen gegen die Nitrate zurück durch ihre Empfindlichkeit gegen höhere Temperatur und die schwächere Doppelbrechung ihrer Mischkrystalle. Da sie schon bei verhältnissmässig niederer Temperatur Wasser verlieren und trüb werden, muss jede Temperaturerhöhung bei Herstellung der Präparate, dem Aufkleben der Platten etc. vermieden werden, und Erwärmungsversuche, wie sie mit Bleinitrat angestellt wurden, führen hier zu keinem Ergebniss, da die Krystalle trüb werden, ehe eine Änderung in der Stärke der Doppelbrechung zu bemerken ist. Wegen der schwächeren Doppelbrechung sind die Erscheinungen weniger scharf und namentlich in convergentem Licht bei weitem nicht so deutlich wie bei den Nitraten.

Will man sich daher nur von der Thatsache überzeugen, dass durch isomorphe Beimischung Doppelbrechung in regulären Krystallen entsteht, oder will man das optische Verhalten regulärer isomorpher Mischkrystalle im allgemeinen kennen lernen, so sind die Nitrate zu empfehlen. Die Alaune dagegen verdienen den Vorzug, wenn man Mischkrystalle von verschiedenem optischen Charakter und isomorphe Überwachsungen darstellen will.

Wir haben gesehen, dass schon Brewster (1) den Alaun unter den doppelbrechenden regulären Krystallen anführt und dass besonders Biot (2) das Verhalten desselben studirt hat. Seitdem ist die Doppelbrechung des Alauns wiederholt Gegenstand von Untersuchungen gewesen, aber weder in den Beobachtungen noch in den Deutungen ist Übereinstimmung erzielt worden.

Biot hatte gefunden, dass die parallel einer als Krystallfläche nicht ausgebildeten Würfelfläche aus octaëdrischen Krystallen geschnittenen Platten das dunkle Gesichtsfeld des Polarisationsapparates aufhellen und durch dunkle, in der Richtung der Diagonalen verlaufende Banden in vier Felder getheilt erscheinen, dass aber die Platten parallel den Octaëderflächen bei senkrechter Incidenz des Lichtes ohne alle Einwirkung seien. Dies gerade führte ihn zur Aufstellung seiner Hypothese von der Lamellarpolarisation.

Mallard, dem die Originalkrystalle von Biot zur Verfügung standen, konnte dessen Beobachtungen nur bestätigen und erklärte das Verhalten durch die Annahme, dass der Alaun hexagonal sei; die Octaëder bestünden aus acht pyramidalen Krystallen, deren Basis die Octaëderflächen seien; auf jeder Octaëderfläche stünde die optische Axe der von ihr nach der Mitte des Krystalls gehenden Pyramide senkrecht.

Entgegen diesen Beobachtungen fand F. Klocke (5), dass wenn überhaupt ein Alaunkrystall Doppelbrechung zeige, auch jede parallel einer Octaëderfläche geschnittene Platte doppelbrechend sei und je nach den speciellen Verhältnissen in sechs oder weniger Felder zerfalle, und seine Beobachtungen wurden durch R. Brauns bestätigt.

Nach Biot-Mallard sollen also octaëdrische Platten von Alaun einheitlich sein, auf das parallele polarisirte Licht nicht einwirken, nach Klocke-Brauns sollen sie Feldertheilung zeigen.

Diese Widersprüche kann man befriedigend erklären, wenn man die Entstehungsweise der Krystalle berücksichtigt. Die von Biot und Mallard benutzten Alaunkrystalle stammten aus Fabriken, und es ist bekannt, dass die Alaune hier in grossen Gefässen krystallisiren und von den Wänden ungehindert nach der Mitte des Gefässes wachsen können und nach einer der krystallographischen Axen lang gestreckte, sonst aber regelmässige Octaëder bilden, während die von Klocke und Brauns benutzten Krystalle in gewöhnlichen kleinen Krystallisationsschalen gezogen und auf dem Boden des Gefässes liegend gewachsen waren. Unter diesen Umständen bilden sich aber nicht regelmässige, sondern nach einer trigonalen Axe verkürzte, nach der Auflagerungsfläche tafelige Krystalle. Wir haben aber bei den Nitraten gesehen — und dasselbe gilt auch für die Alaune —, dass die optische Structur der Krystalle von ihrer Lage während des Wachsthums abhängt; dass die auf einer Octaëderfläche liegend gewachsenen Krystalle nach dieser Feldertheilung zeigen, während jede der seitlichen Octaëderflächen in der Mitte wenigstens einheitlich und optisch einaxig ist mit zur Oberfläche senkrechten optischen Axen. Wie die seitlichen Flächen verhalten sich die von Biot und Mallard untersuchten octaëdrischen Platten, und die Angaben von Klocke und Brauns beziehen sich hauptsächlich auf Platten parallel der Auflagerungsfläche.

Die Angaben der genannten Forscher sind daher nur scheinbar verschieden, in Wirklichkeit stimmen Aller Angaben mit den thatsächlichen Verhältnissen überein.

Indem wir nun dazu übergehen, das Verhalten der doppelbrechenden Alaune kurz zu beschreiben, sei im voraus bemerkt, dass sie wegen der schwachen Doppelbrechung zur Untersuchung im convergenten Licht wenig geeignet sind. Es konnte festgestellt werden, dass sie sich den Nitraten analog verhalten, im übrigen musste man sich mit der Beobachtung im parallelen Licht begnügen.

Wie R. Brauns gefunden hat (8), zeigen nur diejenigen Alaune die zu beschreibenden Erscheinungen, welche isomorphe Beimischung enthalten, die reinen Alaune liefern einfachbrechende Krystalle.

Platten parallel der Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}1)$.

Sind die Krystalle auf einer Octaëderfläche liegend gewachsen, so zeigen sie in Platten parallel der Auflagerungsfläche im parallelen polarisirten Licht

ebenso ein Zerfallen in Felder, wie wir es bei den Nitraten kennen gelernt haben, wegen der schwächeren Doppelbrechung erscheinen sie aber nur in dem Graublau-Weiss I. Ordnung.

Die Zahl der Felder ist an die Zahl der Kanten gebunden; wenn nur drei der seitlichen Octaëderflächen mit der oberen zum Schnitt kommen, so haben wir drei Felder, wenn alle sechs zum Schnitt kommen, sechs Felder, welche immer von den Kanten nach der Mitte zu gehen und gegen einander durch ebensoviel radiale, von den Ecken ausgehende dunkle Streifen abgegrenzt werden. Die Streifen sind nicht immer ganz geradlinig, sondern meist ein wenig geknickt oder gewellt und behalten bei dem Drehen der Präparate ihre Lage nicht absolut bei, sondern machen kleine Schwankungen nach rechts und links.

Die Auslöschung erfolgt in jedem Sector parallel und senkrecht zu den Randkanten. Im convergenten Licht erweist sich die Mitte der dünner geschliffenen Krystalle als optisch einaxig, wie bei Bleinitrat, nur ist das schwarze Kreuz viel verschwommener und die Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung im convergenten Licht ist nicht mehr ausführbar.

Bestimmt man mit einem Gypsblättchen vom Roth I. Ordnung die Lage der optischen Elasticitätsaxen, so findet man, dass diese, und somit der optische Charakter in den verschiedenen Mischungen verschieden ist und die Mischkrystalle in zwei Gruppen zerfallen: bei der einen ist in jedem Sector die kleinste optische Elasticitätsaxe parallel der Randkante (Fig. 74, Taf. III), bei der andern senkrecht hierzu (Fig. 75); die ersteren würden als optisch negativ, die andern als positiv zu bezeichnen sein.

Nach den Untersuchungen von R. Brauns, von deren Richtigkeit sich Verfasser an vielen hundert Krystallen überzeugt hat, haben die Mischkrystalle je zweier Componenten immer denselben optischen Charakter, einerlei in welchem Mengenverhältniss diese zu einander stehen.

Der optische Charakter ist negativ in den Mischkrystallen von:

Ammoniak-Thonerde- + Kali-Thonerdealaun,

positiv in:

Ammoniak-Thonerde- + Kali-Eisenalaun,
Kali-Thonerde- + Kali-Eisenalaun,
Ammoniak-Thonerde- + Kali-Chromalaun,
Kali-Thonerde- + Kali-Chromalaun,
Kali-Eisen- + Kali-Chromalaun.

Fast gar keine Doppelbrechung besitzen nach meinen Beobachtungen diejenigen Mischkrystalle, welche Thalliumalaun enthalten; ich habe solche von Kali- + Thalliumalaun und solche von Ammoniak- + Thalliumalaun dargestellt, dieselben zeigten aber kaum wahrnehmbare Spuren von Doppelbrechung.

Überhaupt ist die Doppelbrechung der Alaune immer schwach, sie zeigen in der Regel das Graublau der I. Ordnung, nur in den eisenhaltigen steigen die Farben bis zum Gelb der I. Ordnung. Die Doppelbrechung ist viel

schwächer wie in den Nitraten und die Abhängigkeit derselben von der Menge der Beimischung nur im allgemeinen dadurch zu erkennen, dass ziemliche Mengen beigemischt sein müssen, wenn auch nur schwache Doppelbrechung entstehen soll. Während in Bleinitrat schon durch 4% Baryumnitrat ebenso starke Doppelbrechung erzeugt wird, wie je in Alaunen durch 50% Beimischung, bewirkt in Alaun eine Beimischung von 4% nur sehr geringe Spuren von Doppelbrechung. Alaune, welche 25% oder 50% Beimischung enthalten, sind durch Stärke der Doppelbrechung kaum zu unterscheiden; denn da die Doppelbrechung immer nur sehr schwach ist, sind geringe Unterschiede in der Stärke derselben nicht gut zu erkennen.

Um dies genauer festzustellen, habe ich aus folgenden drei Lösungen Krystalle gezogen:

I.	75%	Ammoniakalaun	+ 25%	Kalialaun
II.	50%	-	+ 50%	-
III.	25%	-	+ 75%	-

Die aus diesen drei Lösungen gezogenen Krystalle zeigten keine merklich verschiedene Doppelbrechung. Bei gleicher Dicke (etwa ½ cm dick) zeigten sie alle in gleicher Weise das Graublau der I. Ordnung.

Zur Ermittelung ihrer Zusammensetzung wurde der Stickstoff bestimmt[1]), dessen Menge im reinen Ammoniakalaun 3,09% betragen muss, was auch ganz genau durch die Analyse gefunden wurde. In den gemischten Krystallen ergab die Analyse für die Krystalle aus I. 2,33% N, aus II. 1,63% N und aus III. 0,77% N. Die Menge des dem Stickstoff entsprechenden Ammoniakalaun ist für I. 75,26%, II. 52,73%, III. 24,91%. Das Mengenverhältniss von Ammoniak- zu Kalialaun in den Mischkrystallen entspricht demnach sehr annähernd dem Verhältniss der gelösten Substanzen; die Stärke der Doppelbrechung in ihnen ist nicht merklich verschieden.

Aus der schwachen Doppelbrechung der Alaunkrystalle schliessen wir, dass die Spannungen, welche die Doppelbrechung erzeugen, gering sind, geringer wie in den Nitraten. Von den Alaunen, speciell Ammoniak- und Kalialaun, liefern alle Mischungen schön klare und verhältnissmässig grosse Krystalle, bei den Nitraten hatten wir dies nicht gefunden; viel Beimischung verhindert hier die Bildung von grossen und klaren Krystallen. Die Alaune werden höchstens von wenigen Sprüngen durchsetzt, die Nitrate unter Umständen ganz zersprengt. Offenbar übt die Spannung einen Einfluss auf die Ausbildung der Krystalle aus, starke Spannung verhindert die Bildung grösserer Krystalle, schwache Spannung nicht, oder nur in geringem Grade.

Es wäre ganz interessant zu untersuchen, ob sich wohl aus demselben Grunde von manchen isomorphen Substanzen nur sehr schwer isomorphe Mischkrystalle ziehen lassen, und ob diese Mischkrystalle ebenfalls optische Anomalien zeigen.

---

1) Von meinem Bruder, Dr. F. Brauns im Laboratorium der Marburger landwirthschaftlichen Versuchsanstalt ausgeführt.

Platten parallel den seitlichen Octaëderflächen

hat schon F. Klocke untersucht und ihr Verhalten wie folgt beschrieben (vergl. Fig. 76):

»Es fällt dabei zunächst auf, dass hier nicht, wie in allen früheren Fällen, die Platte in so viele doppelbrechende Sectoren zerfällt, als sie Seiten hat. Es sind nur drei doppelbrechende Sectoren vorhanden, welche sich optisch ganz so wie die früher geschilderten verhalten; an die vierte Seite dagegen grenzt ein isotropes Feld. Seine Lage ist nun nicht etwa an die einzelne Verzerrungskante der Platte gebunden, während die drei doppelbrechenden Sectoren an den drei wirklichen Octaëderkanten lägen, sondern die isotrope Partie liegt immer zu unterst, stets an derjenigen Seite der Platte, welche in dem wachsenden Krystall auf dem Boden des Gefässes aufgelegen hatte.«

Wenn man hier von der Bezeichnung isotrop absieht und sagt, die betreffenden Partien seien im parallelen polarisirten Licht in allen Lagen dunkel, so erkennt man eine vollkommene Analogie mit den von den Nitraten beschriebenen Erscheinungen. Bei diesen, z. B. dem in Fig. 65 dargestellten Präparat, sind auch die an der Auflagerungsfläche liegenden Theile im parallelen polarisirten Licht dunkel; sie sind aber, wie wir gesehen haben, nicht isotrop, sondern optisch einaxig und die optische Axe ist senkrecht zur Oberfläche. Ebenso verhält es sich hier bei den Alaunen. Wenn man die Platten im convergenten Licht untersucht, so sieht man das schwarze Kreuz einaxiger Krystalle, aber so schwach und verschwommen, dass man es leicht übersehen kann.

Ein Alaunoctaëder besteht demnach aus acht optisch einaxigen Individuen, deren Basis die Octaëderflächen sind und deren Spitzen in der Mitte des Krystalls liegen — ganz wie ein Octaëder von Bleinitrat.

Sind an den Krystallen auch Würfelflächen vorhanden, und werden diese vom Schnitt getroffen, so sieht man von ihnen aus wieder einfachbrechende Felder in das Innere gehen, wie bei Bleinitrat; die optische Structur bei beiden ist dieselbe.

Das Verhalten von Platten parallel den Würfelflächen haben wir schon oben (p. 19 und 31) bei Besprechung der Arbeiten von Biot und Reusch kennen gelernt und es mag genügen, hier zu wiederholen, dass sie Theilung in vier Felder zeigen und parallel den Randkanten auslöschen. In Platten parallel den seitlichen Würfelflächen bemerkt man in der Mitte wieder ein isotropes Feld, wie bei Bleinitrat, vorausgesetzt, dass die Würfelflächen als Krystallflächen am Krystall ausgebildet sind; im andern Fall zeigen auch diese Platten Theilung in vier Felder.

Platten parallel den Granatoëderflächen haben rhombischen Umriss und erscheinen nach den übereinstimmenden Angaben von Mallard und Klocke bei gekreuzten Nicols durch ein schwarzes Kreuz in vier Felder getheilt, welche parallel und senkrecht zu den Randkanten auslöschen. Ist die Granatoëderfläche im Schliff erhalten, so bildet sie ein einheitliches Mittelfeld

von rechteckigem Umriss, das kaum mehr auf das polarisirte Licht einwirkt, da die Platten sehr dünn sein müssen, wenn es überhaupt erscheinen soll.

Alaunkrystalle mit vicinalen Flächen.

Es kommt häufig vor, dass sich über den Octaëderflächen der Alaunkrystalle flache Pyramiden erheben, die ihrer Lage nach als vicinale Pyramidenoctaëder aufzufassen sind. Im einfachsten Fall erhebt sich über einer Octaëderfläche nur eine Pyramide, deren Spitze genau über der Mitte der Fläche liegt und deren Kanten nach den hexaëdrischen Ecken gehen (Fig. 77, Taf. III). Öfters jedoch liegt die Spitze der Pyramide über einem beliebigen andern Ort der Octaëderflächen, oder es erheben sich zwei oder mehr Pyramiden über einer Fläche, oder die Kanten der Pyramiden verlaufen treppenförmig, wie dies seiner Zeit von F. Klocke[1]) beschrieben worden ist.

Die Winkel dieser vicinalen Pyramidenoctaëder hat Scacchi[2]) gemessen und ihre Werthe zwischen 23′ und 48′ gefunden. Aus letzterem Maximalwerth hat F. Klocke das Zeichen des Pyramidenoctaëders als $\frac{72}{71}O$ (72.72.71) berechnet. Nach den von R. Brauns (9) mitgetheilten Messungen sind die Winkel einer Pyramide immer einander gleich, dagegen weichen die Pyramiden über verschiedenen Octaëderflächen in ihren Winkelwerthen von einander ab, namentlich sind die Pyramiden über der der Auflagerungsfläche $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ gegenüberliegenden Fläche (111) stumpfer (19′30″; 23′), als die über den Seitenflächen (30′30″; 39′).

Diejenigen Krystalle, an welchen Vicinalflächen auftreten, zeigen ein anderes optisches Verhalten als die bisher beschriebenen ohne Vicinalflächen, vorausgesetzt, dass es isomorphe Mischkrystalle sind; reine Alaunkrystalle sind einfachbrechend, auch wenn ihre Flächen mit Vicinalflächen bedeckt sind.

Nach R. Brauns (9) sind die in Rede stehenden Erscheinungen besonders an Mischkrystallen von Kali-Thonerde- und und Kali-Chromalaun zu beobachten, ich habe sie auch an eisenhaltigen Alaunen gefunden.

Eine Platte parallel der Auflagerungsfläche $O(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ zerfällt unter dem Mikroskop im einfachsten Fall in sechs Felder (Fig. 78); je zwei derselben löschen gleichzeitig aus, und zwar tritt Auslöschung ein, wenn die Randkanten der betreffenden Felder 30° bezw. 60° mit den Schwingungsrichtungen der Nicols bilden. In diesem Fall gehen die beiden Randkanten, an welchen keins der beiden Felder anliegt, einem Arme des Fadenkreuzes im Ocular parallel. Figur 78 auf Tafel III stellt diese Verhältnisse nach Einschaltung des Gypsblättchens dar. Die schraffirten Felder befinden sich in der Auslöschungslage, das übrige ist aus der Figur zu ersehen.

Abweichungen von diesem regelmässigsten Verhalten treten ein, wenn mehrere Pyramiden über einer Octaëderfläche sich erheben; ebenso wie die

---

1) N. Jb. 1871. p. 571—578. Z. Kr. II. p. 572. 1878.
2) Z. g. G. XV. p. 56.

einzelnen vicinalen Flächen gehen dann auch die optischen Felder in einander über.

Im convergenten Licht bemerkt man sehr undeutlich auf jedem Feld den Austritt einer excentrischen Barre.

Eine Platte parallel der Auflagerungsfläche $\infty O \infty (00\bar{1})$ zeigt in der Diagonalstellung Viertheilung nach den Diagonalen (Fig. 79); Auslöschung tritt ein, wenn die Randkanten, also die Combinationskanten $\infty O \infty : O$ in die Schwingungsrichtungen der Nicols fallen. Jedoch ist die Auslöschung nicht immer ganz vollständig, es sind oft noch einige hellere Streifen zu erkennen.

Alaune mit isomorphen Überwachsungen.

Es ist bekannt, dass man Alaunkrystalle in Lösungen anderer Alaune ohne grosse Schwierigkeit weiter wachsen lassen kann; es bilden sich Schichtkrystalle, deren Schichten einander parallel sind, aber verschiedene chemische Zusammensetzung haben. Man kann beliebig reinen Alaun über einen andern reinen oder gemischten Alaun, oder gemischten Alaun über reinen oder einen in anderer Weise gemischten Alaun fortwachsen lassen und eine grosse Reihe in der verschiedenartigsten Weise aufgebauter Schichtkrystalle darstellen, immer aber behält die aus einer bestimmten Mischung sich abscheidende Substanz den ihr eigenthümlichen optischen Charakter bei. Die aus reiner Substanz bestehenden Schichten sind immer einfachbrechend, die andern doppelbrechend, und diese isomorphen Mischungen verhalten sich in Bezug auf die Lage der optischen Elasticitätsaxen wie oben angegeben: in den aus Ammoniak- + Kalialaun bestehenden Schichten ist die grösste optische Elasticitätsaxe immer normal zur octaëdrischen Begrenzung, in den andern parallel hierzu, selbst dann, wenn die verschieden zusammengesetzten Schichten unmittelbar auf einander folgen.

R. Brauns, welcher diese Versuche ausgeführt hat, beschreibt sie wie folgt:

»Isotrope Krystalle von Ammoniakalaun von der Form $O . \infty O \infty$ liess ich in einer etwa 30° warmen und für diese Temperatur gesättigten Lösung von Ammoniak- + Eisenalaun wachsen, bis sie sich durch Abkühlung und Verdunstung der Lösung mit einer etwa 2 mm dicken Schicht überzogen hatten.

»Die Würfelflächen verschwanden in dieser Lösung oft gänzlich, oder traten wenigstens sehr zurück. Hierauf liess ich diese Krystalle in einer Lösung von Ammoniak- + Kalialaun auf dieselbe Weise mit einer etwa ebenso dicken Schicht überwachsen. Es bildeten sich in dieser Lösung breite Flächen von $\infty O \infty$ und ∞O. Einen dieser Krystalle liess ich schliesslich noch in einer Lösung von Kalialaun weiter wachsen.

»Aus den so erhaltenen Krystallen wurden nun zur optischen Untersuchung geeignete Platten hergestellt. War die Auflagerungsfläche eine Octaëderfläche, so war es nur nöthig, von ihr und der gegenüberliegenden Fläche

soviel Substanz abzuschleifen, bis der ursprüngliche Kern zu Tage trat, um gute Platten parallel der Octaëderfläche zu bekommen. Zur Herstellung der Würfelschnitte wurden die Krystalle zersägt oder auf der Schneidemaschine zerschnitten . . . . . . Das Schneiden selbst musste mit grosser Vorsicht geschehen, da, abgesehen von der Sprödigkeit der Krystalle, die Cohäsion der einzelnen Hüllen gering war; bisweilen konnte man jede einzelne Hülle vollständig glattflächig von dem Kerne ablösen. Ist dies Verhalten auch besonders in Beziehung auf den Granat interessant, so ist es doch bei Herstellung der Schnitte störend.«

Schliffe nach O (111).

»Eine Platte ‖ O unter dem Mikroskop untersucht (Fig. 80, Taf. III) liess in der Mitte den scharf begrenzten, isotrop gebliebenen Kern erkennen, der von zwei doppelbrechenden, im Hellblaugrau der ersten Ordnung erscheinenden Zonen umgeben war; beide Zonen waren durch ein schmales isotropes Band getrennt. Schwarze, bei Drehen des Objecttisches wandernde Banden waren an einzelnen Stellen zu bemerken. Die Auslöschung der Sectoren war eine vollständige; je zwei derselben löschten gleichzeitig aus, wenn ihre Randkanten einer der Schwingungsrichtungen der Nicols parallel gingen. Mit dem Gypsblättchen untersucht, verhielt sich der Krystall wie in Fig. 5 (hier Fig. 80) dargestellt. Der Kernkrystall erschien in dem Roth des Gesichtsfeldes, ebenso die beiden in der Auslöschungslage befindlichen Sectoren; in der inneren Zone (Ammoniak- + Eisenalaun) stand die kleinste optische Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante eines jeden Sectors, in der äusseren (Ammoniak- + Kalialaun) ging sie ihr parallel.

»Der beide Zonen verbindende isotrope Streifen und die Banden an der Grenze der Sectoren erschienen ebenfalls in dem Roth des Gesichtsfeldes. Beide Arten von Mischungen haben demnach ihren optischen Charakter beibehalten. Das isotrope Band zwischen den beiden doppelbrechenden Schichten findet sich nur an der Grenze von Schichten mit verschiedenem optischen Charakter; solche mit gleichem optischen Charakter, aber doch verschiedener chemischer Zusammensetzung gehen unmittelbar in einander über (vergl. Figur 82). Diese Erscheinung wird man so zu erklären haben, dass an dieser Stelle Compensation eingetreten ist.«

Schliffe nach $\infty O \infty$ (100).

»Aus einem grösseren Krystall wurden drei Platten parallel $\infty O \infty$ angefertigt; die der Mitte entnommene war am instructivsten. Man erkannte hier um den isotropen Kern zwei doppelbrechende Zonen, getrennt durch ein isotropes Band, wie an dem Schliff ‖ O. Die äusserste Schicht war isotrop, da dieser Krystall noch in einer Lösung von reinem Kalialaun sich vergrössert hatte. Die Auslöschung trat in den Sectoren gleichzeitig ein, wenn die

Randkanten, hier also die Combinationskanten von $\infty O \infty$ mit O, mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfielen. In der Auslöschungslage sah man am Kern, genau da, wo die beiden Würfelflächen sich befunden hatten, einen doppelbrechenden Streifen, und ferner in der zweiten Zone an der Ecke, an der die Würfelfläche wieder auftrat, einen hellen Strahl. Diese Verhältnisse werden deutlicher nach Einschaltung eines Gypsblättchens; Figur 6 (hier Figur 81) stellt die Platte in der Intensitätsstellung, Figur 7 (hier nicht wiedergegeben) in der Auslöschungslage der Hauptsectoren dar. Die Erscheinungen der ersteren Figur sind analog denen der Figur 5 (hier Figur 80). In der Figur 7 erkennt man deutlich die erwähnten doppelbrechenden Streifen an den durch die Würfelflächen abgestumpften Ecken des Kernkrystalls; die kleinere Elasticitätsaxe steht senkrecht zur Würfelkante, entsprechend der Zusammensetzung dieser Zone (Ammoniak- + Eisenalaun). Das kleine dreiseitige in der Figur punktirte Feld war trüb durch zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse, wohl eine Folge des an dieser Stelle schneller vor sich gehenden Wachsthums. Die beiden andern, von den beiden Enden entnommenen Schliffe zeigten keine besonderen Eigenthümlichkeiten; der doppelbrechende Streifen war an dem einen Schliff kleiner, am andern ganz verschwunden, da dieser mehr der Oberfläche entnommen war.«

Zu dieser Beschreibung ist einiges hinzuzufügen. Wie man sieht, befinden sich doppelbrechende Streifen an der inneren Würfelfläche, nicht aber in dem Bezirk der äusseren Würfelfläche. Jene ist durch das Wachsen in einer andern Lösung verschwunden, diese durch das weitere Wachsen in einer dritten und vierten Lösung erst entstanden. Jene ist verschwunden, weil der Krystall in der Lösung von Ammoniak- + Eisenalaun nur in der Richtung der Octaëderfläche gewachsen ist: die Würfelflächen sind von den Octaëderflächen überwuchert und die abgelagerte Substanz ist doppelbrechend, als sei sie parallel den Octaëderflächen angesetzt. Die äussere Würfelfläche ist gebildet, während der Krystall in einer Lösung von Ammoniak- + Kalialaun gewachsen ist. Während die parallel den Octaëderflächen abgelagerte Substanz doppelbrechend ist, ist die in dem Bezirk der Würfelfläche einfachbrechend, wie wir es bei Bleinitrat und einfachen Alaunmischkrystallen als Regel kennen gelernt haben.

Ebenso wie die bisher beschriebenen Krystalle kann man Mischkrystalle mit vicinalen Flächen in Lösungen anderer Alaune weiterwachsen lassen. In reinem Kalialaun überziehen sie sich mit einer isotropen Schicht, in gemischtem mit einer doppelbrechenden. Letzterer Fall ist in Figur 82 dargestellt; die äussere Zone ist Ammoniak- + Eisenalaun. Zu bemerken ist, dass das isotrope Band zwischen Hülle und Kern hier fehlt: die Schichten haben nicht entgegengesetzten optischen Charakter.

Diese von R. Brauns mitgetheilten Versuche habe ich wiederholt und in den verschiedenartigsten Alaunüberwachsungen dessen Angaben bestätigt gefunden. (In dem in Fig. 83 dargestellten Präparat folgen von innen nach aussen: Kali- + Chrom-, Kali-, Ammoniak- + Kali-, Ammoniak- + Eisenalaun.)

Einfachbrechende Mischkrystalle.

Wir haben oben gesehen, dass die Mischkrystalle von Ammoniak- und Kalialaun entgegengesetzten optischen Charakter haben wie die von Ammoniak- und Eisenalaun; die ersteren sind optisch negativ, die andern positiv. Es lag nun nahe, zu untersuchen, wie sich Krystalle verhalten würden, welche diese drei Substanzen enthalten. R. Brauns hat diese Versuche ausgeführt und gefunden, dass sie sich in ihrer Wirkung aufheben und isotrope Krystalle liefern können.

Nachdem ich diese Versuche wiederholt und die Angaben bestätigt gefunden hatte, kam es mir darauf an, zu ermitteln, in welchen Mengenverhältnissen die Alaune in diesen Mischkrystallen enthalten seien. Die hierzu benutzten Krystalle wurden aus einer Lösung von 20 g Ammoniak-Thonerdealaun, 20 g Kali-Eisenalaun und 10 g Kali-Thonerdealaun gezogen. Diese Zusammensetzung wurde aus folgenden Gründen gewählt: Ammoniakalaun bildet mit Eisenalaun positive, mit Kalialaun negative Krystalle und musste daher gleichsam den Grundstock der Krystalle bilden. Die beiden andern hätten in gleichen Mengen, etwa je 10 g, genommen werden können, wenn ihre Löslichkeit die gleiche wäre; da aber der Eisenalaun leichter löslich ist, musste von ihm entsprechend mehr genommen werden, sollte er in annähernd denselben Mengen wie Kalialaun in den Krystall eintreten.

Die aus dieser Lösung erhaltenen beiden ersten Anschüsse lieferten die zur Untersuchung am meisten geeigneten Krystalle. Allerdings waren nicht alle Krystalle vollkommen einfachbrechend, sondern viele zeigten ganz geringe Spuren von Doppelbrechung, die aber so schwach war, dass die rothe Farbe des eingeschalteten Gypsblättchens kaum merklich geändert wurde. In den Krystallen des I. Anschusses waren die Felder, durch welche die kleinste optische Elasticitätsaxe des Gypsblättchens hindurchging, schwach gelblich, in den Krystallen des II. Anschusses schwach bläulich nüancirt; die ersteren besitzen also Spuren negativer, die andern Spuren positiver Doppelbrechung.

Zur Ermittlung ihrer Zusammensetzung wurde der Stickstoff und das Eisen bestimmt[1]; hieraus konnte die Menge des Ammoniak-Thonerdealauns und die des Kali-Eisenalauns berechnet werden. Der Rest bleibt für Kali-Thonerdealaun. Die Analyse ergab:

	I. Anschuss	II. Anschuss
N =	2,4779 %	2,4779 %
Fe_2O_3 =	1,28 %	1,64 %

Hieraus berechnet man:

	I. Anschuss	II. Anschuss
Ammoniak-Thonerdealaun	80,14	80,14
Kali-Eisenalaun	8,04	10,30
Kali-Thonerdealaun	11,82	9,56

[1] Von Herrn Dr. Hebebrand im Laboratorium der Marburger landwirthschaftlichen Versuchsanstalt ausgeführt.

Wir sehen, dass in den Krystallen des I. Anschusses der Kali-Thonerdealaun über den Kali-Eisenalaun, in denen des II. Anschusses umgekehrt der Eisenalaun vor dem Kalialaun überwiegt, entsprechend der schwachen positiven Doppelbrechung der Krystalle des II. Anschusses und der schwachen negativen Doppelbrechung der Krystalle des I. Anschusses.

Da die Doppelbrechung in den Krystallen der beiden ersten Anschüsse gleich schwach war, der Charakter aber in beiden gerade entgegengesetzt, so kann man annehmen, dass die Zusammensetzung der einfachbrechenden Mischkrystalle der mittleren Zusammensetzung jener beiden Anschüsse entspricht; sie würden demnach bestehen aus:

80,14 % Ammoniak-Thonerdealaun,
9,17 % Kali-Eisenalaun,
10,69 % Kali-Thonerdealaun.

In den einfachbrechenden Mischkrystallen würde also die Menge des Kali-Eisenalauns geringer sein, wie die des Kali-Thonerdealauns. Dies würde ganz mit unserer oben mitgetheilten Beobachtung stimmen, dass die eisenhaltigen Alaune etwas stärker doppelbrechend sind, als die andern. Zur Compensation in unseren Mischkrystallen genügt eine etwas geringere Menge [1]).

Das geschilderte Verhalten des Alaun lässt sich in wenige Worte zusammenfassen:

Die reinen Krystalle sind einfachbrechend, die mit isomorpher Beimischung doppelbrechend; — in der Richtung der Octaëderflächen optisch einaxig mit zur Oberfläche senkrechter Axe.

Der Charakter der Doppelbrechung ist negativ bei Kali- + Ammoniakalaun, positiv in den andern Mischkrystallen.

Mischkrystalle mit vicinalen Flächen sind optisch zweiaxig.

Mischkrystalle aus zwei vereinigten Lösungen, von denen die eine optisch positive, die andere negative Krystalle liefert, sind bei einer bestimmten Zusammensetzung einfachbrechend.

In den leicht darzustellenden isomorphen Überwachsungen behält jede Mischung den ihr eigenthümlichen Charakter bei; es entstehen Krystalle mit Zonenstructur.

»Die isotropen Zonen können sowohl aus reiner Substanz als auch aus gemischter bestehen; im letzteren Falle ist Compensation eingetreten. Der optische Charakter der doppeltbrechenden Zonen ist abhängig von der

[1]) Aus den oben mitgetheilten Analysen ergiebt sich unter andern, dass das Mengenverhältniss von Ammoniak-Thonerdealaun und Kalialaun in diesen Krystallen nicht mehr so dem Verhältniss der angewandten Substanz entspricht, wie wir es für die nur Ammoniak- und Kalialaun enthaltenden Mischkrystalle gefunden hatten. Offenbar ändert der Eisenalaun die Löslichkeitsverhältnisse der beiden andern.

Die Krystalle, welche Eisenalaun enthalten, sind vollkommen farblos, ihre Lösung dagegen gelb und um so dunkler gelb, je mehr sie erwärmt wird. Es scheint dies ein Zeichen, dass das Doppelsalz des Alauns nicht in der Lösung besteht, hier vielmehr in die Componenten Eisenoxydsulfat und Kalisulfat zerfällt.

Zusammensetzung derselben und wechselt mit dieser. Zugleich mit ihr kann eine Änderung in der Form eintreten, und diese bewirkt wieder eine Änderung in der optischen Structur. In letzter Linie ist alles abhängig von der Zusammensetzung der Lösung, aus der die Krystalle sich bilden. Ist diese während des ganzen Verlaufes der Krystallbildung wesentlich dieselbe, so bilden sich Krystalle, die einen einheitlichen und regelmässigen Bau zeigen, — Feldertheilung ohne zonare Structur.

»Tritt während des Wachsthums eine Änderung in der Lösung ein, so zeigen die Krystalle einen zonenweis wechselnden Aufbau, und je nachdem die Änderung schneller oder langsamer vor sich gegangen ist, ist der Übergang von einer Zone in die andere ein plötzlicher oder ein allmählicher; im ersteren Falle ist auch die Cohäsion der einzelnen Schichten geringer, diese Krystalle zeigen am deutlichsten den schalenförmigen Aufbau.

»Die Doppelbrechung ist secundär, sie »resultirt nicht aus ursprünglicher Anlage«, insofern als sie der Substanz an sich nicht zukommt; sie ist aber trotzdem ursprünglich, indem sie in dem Moment entstanden ist, in dem die Moleküle sich angelagert haben. Je nachdem sie dies in dieser oder jener Weise thun, entsteht diese oder jene Form und mit ihr nothwendig diese oder jene optische Structur.« (R. Brauns, 9.)

Faujasit.

Literatur.

F. Rinne. Über Faujasit und Heulandit. N. Jb. 1887, II. p. 17—25.

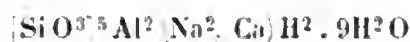
Das optische Verhalten des Faujasit stimmt so sehr mit dem der octaëdrischen Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat überein, dass man hieraus auf eine ähnliche Ursache der Anomalie — isomorphe Beimischung — schliessen kann.

Nach seiner chemischen Zusammensetzung kann der Faujasit als isomorphe Mischung zweier Grundverbindungen aufgefasst werden. P. Groth (Tabell. Übersicht, III. Aufl. p. 146) schreibt die Formel desselben:



$$[Si\,O^3]^{10}\,Al^4\,Ca\,Na^2\,H^4\,.\,18H^2O\,,$$

bemerkt aber hierzu in der Anmerkung: »Da Na^2 und Ca einander in den meisten Zeolithen isomorph vertreten, ist es wahrscheinlich, dass die obige Formel in



$$[Si\,O^3]^5\,Al^2\,(Na^2,\,Ca)\,H^2\,.\,9H^2O$$

zusammengezogen und angenommen werden muss, dass die einzige vorhandene Analyse mit einem zufällig fast genau gleiche Moleküle der Natrium- und Calciumverbindung enthaltenden Material angestellt worden sei.«

Die Begrenzung der Faujasitkrystalle wird immer vom Octaëder gebildet, dessen Flächen oft schwach gewölbt sind; parallel den Octaëderflächen geht eine ziemlich vollkommene Spaltbarkeit.

Das optische Verhalten des Faujasit haben wir durch F. Rinne kennen gelernt. Hiernach sind die Krystalle aus acht Einzeltheilen aufgebaut, von denen jeder, von einer Octaëderfläche ausgehend, ins Krystallinnere sich erstreckt. Jeder Theil verhält sich wie ein einaxiger Krystall, und der zugehörigen Octaëderfläche fällt die Rolle der Basis zu, auf welcher die optische Axe senkrecht steht. Die Doppelbrechung ist positiv. Das optische Verhalten entspricht dem der octaëdrischen Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat.

Die nach verschiedenen Richtungen angefertigten Schliffe verhalten sich im parallelen polarisirten Licht nach F. Rinne wie folgt:

Octaëderschliffe von der Oberfläche der Krystalle bleiben in allen Lagen dunkel, die aus der Mitte des Krystalls zerfallen in ebensoviel von den Kanten ausgehende Felder, als Kanten vorhanden sind; von jeder durchschnittenen Octaëderfläche geht ein Feld in das Innere; Auslöschung erfolgt parallel und senkrecht zur Randkante in jedem Feld.

Würfelschliffe zeigen Theilung in vier Felder, deren Grenzen in die Richtung der Diagonalen fallen. Auslöschung erfolgt normal zu den Kanten.

Schliffe nach den Granatoëderflächen haben sechsseitigen Umriss und zeigen Theilung in sechs Felder; von jeder von dem Schliff getroffenen Octaëderfläche geht wieder ein Feld in das Innere. In der Mitte scheint die Doppelbrechung schwächer zu sein als am Rand. Auslöschung erfolgt in jedem Sector parallel und senkrecht zu den Randkanten.

In allen Schliffen ist die kleinste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante eines jeden Feldes, fällt also in die Richtung der Octaëderflächennormalen und der optischen Axe; der optische Charakter ist demnach positiv.

Interessant sind die bei dem Erwärmen eintretenden Veränderungen:

Die Doppelbrechung wird allmählich schwächer, verschwindet bei ungefähr 150° und tritt bei fortgesetztem Erwärmen wieder auf, ihr Charakter aber ist nun negativ geworden. Man erkennt dies nach Einschaltung eines Gypsblättchens vom Roth I. Ordnung. Wenn z. B. ein Feld vor dem Erwärmen blau erschien, so wird es allmählich roth, dann gelb und um so kräftiger, je stärker innerhalb gewisser Grenzen erwärmt wird.

Lässt man die durch Erhitzen in ihren Farbentönen umgeschlagenen Platten langsam an der Luft erkalten, so tritt allmählich die rückläufige Erscheinung ein, schliesst man sie jedoch nach dem Erhitzen in dünnen Canadabalsam ein und verhindert sie hierdurch, aus der Luft das während des Erhitzens ausgetriebene Wasser wieder aufzunehmen, so bleiben die Umschlagsfarben erhalten.

Der Wasserverlust beträgt bei 150° C., d. h. bei der Temperatur, bei welcher der Übergang von positiver zu negativer Doppelbrechung erfolgt, 16,83%, eine Menge, welche 12 Molekülen Wasser entspricht.

Zur Erklärung der Doppelbrechung des Faujasit hat F. Rinne angenommen, dass dieselbe in jedem Fall durch Wasserverlust entstünde: »Bereits geringe Wasserverluste des wasserreichen Minerals bewirken durch Änderung des Molekulargefüges den Übergang in ein optisch einaxiges System.« Dem steht

nach unserer Ansicht das Verhalten beim Erwärmen, der Wechsel des Charakters der Doppelbrechung entgegen. Nach unserer Auffassung verhält es sich so:

Die Doppelbrechung des natürlichen Faujasit beruht auf der isomorphen Beimischung; der Charakter derselben ist positiv. Bei höherer Temperatur verlieren die Krystalle Wasser und würden mit Beginn des Wasserverlustes negativ doppelbrechend werden, wie eingetrocknete Gelatine, wenn sie vorher einfachbrechend gewesen wären; oder sie würden stärker doppelbrechend werden, wie erhitzter Analcim, wenn sie schon vor dem Erwärmen wie dieser negativ doppelbrechend gewesen wären. Da sie aber anfänglich optisch positiv sind, so wird zunächst die Doppelbrechung verringert, und erst nachdem die Krystalle einfachbrechend geworden waren, kommt die negative Doppelbrechung zum Vorschein.

Wenn man die Annahme zulässt, dass der Wasserverlust im Faujasit eine Contraction zur Folge hat, so kann man sein Verhalten mit dem des gepressten gekühlten Glases vergleichen. Gekühltes Glas ist optisch positiv, gepresst wird es einfachbrechend, dann optisch negativ. Der Faujasit erleidet durch den Wasserverlust Contraction, er wird gleichsam gepresst und hierdurch, weil er positiv doppelbrechend ist, zuerst einfachbrechend, dann negativ doppelbrechend.

Haüyn, Nosean, Sodalith.

Literatur.

1. H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. II. Aufl. p. 283 u. 285. 1885.

2. Bruno Mierisch. Die Auswurfsblöcke des Monte Somma. T. M. M. VIII. p. 166. 1887.

3. Hubbard. Noseanführende Auswürflinge des Laacher Sees. T. M. M. VIII. p. 369. 1887.

4. Bruhns. Über doppelbrechenden Hauyn vom Laacher See. Sitzgsber. der niederrhein. Ges. Bonn 1890. p. 31.

5. W. C. Brögger und H. Bäckström. Die Mineralien der Granatgruppe. Z. Kr. XVIII. p. 239—262. 1890.

Der Sodalith ist in der Regel einfachbrechend, bisweilen in der Umgebung von Einschlüssen, selten in seiner ganzen Masse doppelbrechend. Solche anomale Krystalle hat Bruno Mierisch in den Auswurfsblöcken des Mte. Somma gefunden: »Dieselben weisen dadurch, dass sie ebenfalls in concentrischen, polyëdrisch gestalteten Zonen auftreten, grosse Analogie mit den Erscheinungen am Granat auf, wenngleich sie nie die Lebhaftigkeit derselben erreichen. Auch hier scheint es, wie es Klein am Granat nachgewiesen hat, dass die Anomalien im engsten Zusammenhange mit der krystallographischen Umgrenzung stehen.« (2).

Nach Rosenbusch sind »die in dem Gestein eingewachsenen Haüyne im frischen Zustand im Allgemeinen durchaus isotrop; doch fehlt es nicht an

Vorkommnissen, welche optische Anomalien aufweisen (Vesuv, Laacher See). Dieselben sind zweierlei Art. Im einen Falle tritt nur um Einschlüsse, zumal um Gaseinschlüsse herum local eine Doppelbrechung auf, welche sich zwischen gekreuzten Nicols durch das Auftreten eines dunkeln Kreuzes charakterisirt, dessen Arme parallel den Nicolhauptschnitten liegen und bei einer Drehung des Präparats in seiner Ebene auch bleiben und dessen Centrum mit der Interposition zusammenfällt, welche offenbar Veranlassung der Erscheinung ist. Zwischen den Armen des Kreuzes liegen im Eisengrau oder Graublau I. Ordnung gefärbte Quadranten. Das Phänomen, welches man als das Brewster'sche Kreuz bezeichnet, ist die Folge des durch das eingeschlossene Gas ausgeübten Druckes. Durch denselben ist in der Umgebung des Einschlusses radial zu demselben die Elasticität grösser, als tangential dazu, wovon man sich leicht durch Anwendung eines Gyps- oder Glimmerblättchens überzeugt. Die dem Einschluss zunächst liegenden Theile des Haüyn zeigen demzufolge die Erscheinung eines Sphärolithen aus optisch einaxigen und negativen Nadeln. Auch um Sprünge und Klüfte des Haüyn zeigen sich gern ähnliche Anomalien.« Diese Anomalien sind zu vergleichen mit denen in Bleinitrat, welche um Mutterlaugeneinschlüsse durch Erwärmen der Krystalle entstehen (vergl. p. 174).

»Hiervon verschieden ist das Auftreten einer Doppelbrechung durch die ganze Ausdehnung des Minerals (Vesuv, Laach, Niedermendig); dieselbe ist stets schwach bis sehr schwach, oft nur bei Anwendung von Gypsblättchen oder Quarzplatten wahrnehmbar und versteigt sich nur sehr selten zu einer Feldereintheilung, ähnlich wie sie dem Rhomboëdertypus (soll heissen Rhombendodekaëdertypus) des Granat zukommt« (1).

Bruhns hat zu dieser Beschreibung nur wenig neues hinzugefügt (4). Er fand die meisten Haüynkrystalle vom Laacher See doppelbrechend mit undulöser Auslöschung und fügt hinzu, dass einfachbrechende Krystalle durch Glühen doppelbrechend werden.

Ziemlich regelmässige Felderteilung zeigte mir ein Haüyn in einem Dünnschliff eines Laacher See-Trachyts. Innerhalb des sechsseitigen Durchschnitts sah man drei verschieden auslöschende Felder. Je ein Feld löschte aus, wenn eine Randkante einer Schwingungsrichtung der Nicols parallel ging, die kleinste Elasticitätsaxe war senkrecht zur Randkante in jedem Feld. Die Grenzen der Felder waren nicht scharf und vielfach griffen Theile des einen Feldes in das andere Feld hinüber. Das Verhalten hat mit dem eines Medianschliffes ∞O aus dem Dodekaëder eines Granats am meisten Ähnlichkeit.

Da im Haüyn (und Nosean) eine isomorphe Mischung vorliegt und auch der Sodalith bisweilen etwas isomorphe Beimischung enthält, so ist es möglich, dass die optischen Anomalien desselben durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen werden. Hiermit würde auch stimmen, dass Haüyn viel häufiger doppelbrechend ist als Sodalith.

Es ist auch möglich, dass Anomalien durch schnelle Kühlung entstanden sind oder durch beginnende Verwitterung. Letzteres anzunehmen sind Brögger und Bäckström geneigt. Sie haben gefunden, dass der dunkelblaue Haüyn des Lasursteins einfachbrechend, der hellblaue aber doppelbrechend ist, und durch Erhitzen dauernd dunkelblau und einfachbrechend wird (5). Sie halten es für möglich, dass der hellblaue Haüyn etwas Wasser aufgenommen hat und hierdurch doppelbrechend geworden ist. Durch Erhitzen würde das Wasser vertrieben und der frühere, normale Zustand wieder hergestellt.

Ralstonit.

Literatur.

1. E. Bertrand. Étude optique de différents minéraux. Bull. min. IV. p. 34. 1881.
2. P. Groth. Beiträge zur Kenntniss der natürlichen Fluorverbindungen. Z. Kr. VII. p. 473. 1883.
3. J. A. Krenner. Die grönländischen Mineralien der Kryolithgruppe. 1883. Z. Kr. X. p. 528 der Referate.

Der Ralstonit von Grönland hat die Form eines regulären Octaëders, ist aber doppelbrechend.

Nach P. Groth zeigen die Krystalle zwischen gekreuzten Nicols die blassblaue Aufhellung der Alaunkrystalle, selten steigen die Farben bis gelb. Aus der Ähnlichkeit der Erscheinung mit der schwach doppelbrechender Alaunkrystalle schliesst P. Groth, dass die Ursache die gleiche und der Ralstonit als regulär zu betrachten sei. Auch Krenner führt die Doppelbrechung auf Contractionserscheinungen zurück.

Von mir untersuchte Krystalle verhielten sich wie octaëdrische Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat oder Alaun. Eine Platte parallel dem Octaëder hat dreiseitigen Umriss und zerfällt im parallelen polarisirten Licht in drei von den Randkanten ausgehende doppelbrechende Felder; in jedem ist die kleinste optische Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante. Die Auslöschung in jedem Feld ist um so regelmässiger, je weniger Thomsenolithnadeln in dem Krystall eingeschlossen sind; um diese herum ist das optische Verhalten immer sehr gestört. Im convergenten Licht ist nichts bestimmtes zu sehen. Nach der optischen Structur würden die Octaëder des Ralstonit aus acht positiven, einaxigen (?) Individuen bestehen wie die der Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat und Alaun.

Wenn die Ursache der Doppelbrechung dieselbe ist wie bei Alaun, müsste der Ralstonit isomorphe Beimischung enthalten. Die Analysen bestätigen dies; ein Theil des Natrium ist durch die äquivalente Menge Magnesium und Calcium ersetzt. P. Groth schreibt die Formel (Tabell. Übers. III. Aufl. p. 47):



$$3\,Al(F, OH)^3 . (Na^2, Mg)F^2 . 2\,H^2O,$$

worin also noch ein Theil des Mg durch Ca vertreten wird.

Chlornatrium und Verwandte.

Literatur.

1. A. Ben-Saude. Über doppeltbrechende Steinsalzkrystalle. N. Jb. 1883, I. p. 165.
2. —— Note sur la cause de la biréfringence de quelques cristaux de sel gemme et de sylvine et sur un indice de leur hémiédrie probable. Bull. min. VI. p. 260. 1883.
3. R. Brauns. Einige Beobachtungen und Bemerkungen zur Beurtheilung optisch anomaler Krystalle. N. Jb. 1885, I. p. 100.

Die regulären Krystalle von reinem NaCl, KCl, KBr, KJ etc. sind einfachbrechend, wenn sie keinen Druckkräften ausgesetzt waren; durch Druck können sie doppelbrechend werden. Sind die Krystalle isomorphe Mischungen, so können sie doppelbrechend sein. Ich habe nur in den Mischkrystallen von NaCl + KBr Doppelbrechung beobachtet, in den andern nicht.

Die Mischkrystalle von Chlornatrium und Bromkalium, die man aus einer wässerigen Lösung durch Verdunsten des Lösungsmittels ziehen kann, sind von dem Würfel begrenzt, dessen Ecken oft durch das Octaëder abgestumpft sind; sie sind immer sehr klein, die Kantenlänge beträgt kaum mehr als 3 mm.

Die Doppelbrechung der Mischkrystalle ist immer sehr schwach, sie polarisiren nur in dem Blaugrau der ersten Ordnung. Die doppelbrechenden Stellen befinden sich in der Nähe der Kanten und Ecken in der äussersten Schicht der Krystalle. Das Maximum der Auslöschung tritt in der Diagonalstellung der Krystalle ein; viele sind alsdann ganz dunkel, andere erscheinen unregelmässig gefleckt und in einigen treten am Rande ganz schmale, den Würfelkanten parallel laufende doppelbrechende Streifen auf, die wieder verschwinden, wenn der Krystall längere Zeit in der Lösung liegt. Vielleicht handelt es sich nur um eine geringe, durch schnelles Wachsen entstehende Oberflächenspannung. In der Normalstellung löschen diese Partien aus, dafür erscheint jetzt an jeder Ecke ein kleiner doppelbrechender Keil, der von der Ecke bezw. Octaëderfläche aus in das Innere sich erstreckt.

Zur genaueren Untersuchung ist das Material nicht geeignet, da die doppelbrechenden Kryställchen durch zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse so trüb sind, dass sie nur in der Mutterlauge liegend genügend durchsichtig sind. Aus der Lösung heraus genommen lassen sie nichts deutliches mehr erkennen.

Granat.

Literatur.

1. D. Brewster. Phil. Mag. 4. Ser. Vol. VI. 1853. p. 271 und Ed. Trans. Vol. XX. p. 552.
2. —— Optics 1853. p. 282. 348—349.
3. A. Breithaupt. Bornemann und Kerl, Berg- und Hüttenmännische Zeitung. XIX. Jahrg. p. 63. 1860.
4. —— P. A. 121. p. 328. 1864.
5. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 518. 1867.

6. M. Websky. Z. g. G. Bd. 21. p. 754. 1869.
7. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 240.
8. A. Wichmann. Z. g. G. Bd. 27. p. 749. P. A. 157. p. 282—290. 1876.
9. A. v. Lasaulx. N. Jb. 1876. p. 630—632.
10. E. Mallard. Anom. opt. p. 100—108. 1876.
11. A. Des Cloizeaux bei G. vom Rath. Granat vom Pfitschthal. Z. Kr. II. p. 186. 1878; III. p. 15. 1879.
12. W. Jeremējew. Doppelbrechung am Granat. Referat in Z. Kr. V. p. 589.
13. E. Bertrand. De l'application du microscope à l'étude de la minéralogie. Bull. min. IV. p. 8—15. 1881.
14. —— Sur les différences entre les propriétés optiques etc. Bull. min. V. p. 3—7. 1882.
15. C. Klein. Optische Studien am Granat. Gött. Nachr. Nr. 16. 10. VI. 1882. N. Jb. 1883, I. p. 87—163.
16. Whitmann Cross. Topas und Granat in Lithophysen des Rhyolith. Referat in Z. Kr. XII. p. 498.
17. B. Mierisch. Die Auswurfsblöcke des Monte Somma. T. M. M. VIII. p. 147. 1887.
18. C. Klein. Optische Untersuchung zweier Granatvorkommen vom Harz. N. Jb. 1887, I. p. 200.
19. R. Brauns. Mineralien und Gesteine aus dem hessischen Hinterland. Z. g. G. 1888. p. 200.
20. W. C. Brögger. Die Mineralien der Syenit-Pegmatitgänge etc. Z. Kr. XVI. p. 160—173. 1890.

Die in den Nitraten und Alaunen zu beobachtende Doppelbrechung wird durch isomorphe Beimischung hervorgerufen; wir können Krystalle, welche die beschriebenen Erscheinungen zeigen, beliebig darstellen.

Die optische Structur, wie Feldertheilung etc. hängt von der äusseren Begrenzung ab; bei den Nitraten konnten wir dies für jede der auftretenden Formen genau nachweisen. Bei den Alaunen hindert die schwache Doppelbrechung manche Beobachtung im convergenten Licht, aber keine Beobachtung steht in Widerspruch mit dem an den Nitraten nachgewiesenen Verhalten.

Der optische Charakter, ob positiv oder negativ, hängt von der isomorphen Beimischung ab und ändert sich mit dieser. Durch den Wechsel derselben entstehen Krystalle mit Zonenstructur.

Ein den Nitraten und Alaunen ganz analoges optisches Verhalten zeigt der Granat, der in der Regel eine isomorphe Mischung von mehreren Grundverbindungen ist. Wir nehmen daher an, dass die Doppelbrechung der Granaten durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen ist. Zum Beweis, dass die Zusammensetzung mit dieser Annahme nicht in Widerspruch steht, bringen wir von jeder der typischen Formen die Resultate der Analyse mit Ausnahme des Topazolith von der Mussa-Alp, welcher seit 1806 nicht analysirt ist.

Bei Angabe des optischen Verhaltens folgen wir der Beschreibung, welche C. Klein in seiner grossen Granatarbeit (15) mit unübertroffener Klarheit gegeben hat. Wir beschränken uns aber auf Hervorhebung der wichtigsten Typen; das Eingehen auf die Einzelheiten würde uns zu weit führen.

Am Schluss werden wir auf die Ähnlichkeit zwischen Granat, den Alaunen und Nitraten kurz hinweisen und in Anschluss an den unverkennbaren Zu-

sammenhang der optischen Structur mit der äusseren Begrenzung eine Erklärung für das Zustandekommen der Doppelbrechung zu geben versuchen.

Octaëdrischer Granat. Gelblichweisser Granat von Elba.

Die chemische Zusammensetzung des gelben octaëdrischen Granat von Elba ist nach Pisani (Rammelsberg, Mineralchemie 1875, p. 178 Nr. 2):

SiO_2	39,38
Al_2O_3	16,11
Fe_2O_3	8,65
MgO	1,00
CaO	36,04
Glühverlust	0,31
Summe =	101,49

Die Krystalle sind begrenzt von O (111), wozu bisweilen ∞O (110) und seltener $2O2$ (211) untergeordnet hinzutreten.

Schliffe nach O(111).

Im parallelen Licht erscheint in der Mitte der Platte ein in allen Lagen dunkles Dreieck, welches nach aussen hin von drei doppelbrechenden Feldern umgeben ist. Wenn der Krystall rein octaëdrisch ist, stossen je zwei dieser Felder an einer Ecke in einer Linie zusammen, wenn aber auch das Ikositetraëder vorhanden ist, werden sie von einem schmalen, ebenfalls doppelbrechenden Streifen getrennt (Figur 84, Taf. IV).

In jedem der drei Randfelder ist die grösste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante, die Auslöschung erfolgt parallel und senkrecht zu dieser.

Im convergenten Licht erscheint auf dem dreiseitigen Centralfeld das schwarze Kreuz optisch einaxiger Krystalle (Figur 85), in jedem der drei Felder eine excentrische Barre. Alle Octaëderflächen verhalten sich gleich und da die drei Randfelder eines Schliffes Durchschnitte durch die benachbarten Octaëderflächen sind, so ergiebt sich aus dem obigen, dass die optische Axe, bezw. die Octaëderflächennormale jedesmal die Richtung der grössten optischen Elasticitätsaxe, der Krystall also optisch negativ ist.

Das dreiseitige Mittelfeld tritt nur in den nahe von der Oberfläche stammenden Schliffen hervor und wird um so kleiner, je mehr die Schliffläche sich der Krystallmitte nähert. Ein Schliff aus der Mitte zeigt Sechstheilung, je zwei gegenüberliegende Felder löschen gleichzeitig aus; es sind eben alle andern sechs Octaëderflächen durchschnitten.

Der octaëdrische Granat von Elba baut sich demnach optisch aus acht einaxigen Individuen auf, die ihre Spitze im Centrum und ihre Basis in der Octaëderfläche haben; auf letzterer steht die optische Axe senkrecht, und der Charakter der Doppelbrechung ist negativ.

Bisweilen ist das Mittelfeld im parallelen Licht nicht mehr dunkel, im convergenten nicht mehr einaxig, offenbar in Folge von secundären Störungen.

Das Verhalten der andern Schliffe entspricht genau dem, was man aus dem geschilderten Bau erwarten kann.

Schliffe nach $\infty O \infty$ (100).

Dieselben haben meist quadratischen Umriss, löschen in der Normalstellung ziemlich vollständig aus und erweisen sich in der Diagonalstellung nach den Diagonalen in vier Felder getheilt. In jedem Feld ist, in Übereinstimmung mit dem negativen optischen Charakter, die grösste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante (Fig. 86, Taf. IV). Im convergenten Licht tritt in jedem Sector eine excentrische Barre aus, welche die Richtung der schief getroffenen optischen Axe uns andeutet.

Schliffe nach ∞O (110).

Die eine Abstumpfung der Kanten des Octaëders bildenden Schliffe löschen aus, wenn ihre Längsrichtung (Projection der Octaëderkante) mit der Schwingungsrichtung eines Nicols zusammenfällt. Oft zeigen sich dann noch unregelmässig vertheilt doppelbrechende Flecken. In den andern Lagen polarisiren die der Oberfläche entnommenen Schliffe einheitlich, und die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt in die Längsrichtung, was mit dem negativen optischen Charakter wieder übereinstimmt.

Die Structur des octaëdrischen Granats von Elba bezeichnet C. Klein als die normale Octaëderstructur.

Mit seinem optischen Verhalten stimmt das der rein octaëdrischen Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat im wesentlichen überein. Diese wie jene sind optisch aus acht einaxigen Individuen zusammengesetzt, die ihre Spitze im Centrum, ihre Basis in der Octaëderfläche haben. Bei Granat tritt zu dem Octaëder bisweilen das Ikositetraëder, bei Bleinitrat nicht; die Änderungen in dem optischen Verhalten, welche bei Granat durch dieses hervorgerufen werden, fehlen bei Bleinitrat.

Der optische Charakter des Granats von Elba ist negativ, der Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat positiv. Dieser Unterschied ist unwesentlich, da der optische Charakter, wie die Alaune und auch die Nitrate zeigen, von den Componenten der Mischkrystalle abhängt und mit diesen wechseln kann. Octaëdrische Granaten von anderer chemischer Zusammensetzung würden auch optisch positiv sein können.

Dodekaëdrischer Granat. Weisser Granat von Auerbach an der Bergstrasse.

Die chemische Zusammensetzung ist nach einer durch C. Klein mitgetheilten Analyse von P. Jannasch:

SiO_2	41,80
Al_2O_3	20,91
FeO	2,01
MnO	0,18
CaO	33,48
MgO	0,82
Glühverlust (keine CO_2)	0,38
Na_2O (incl. Spur von K_2O und Li_2O)	0,42
Summe =	100,00

Die von C. Klein untersuchten Krystalle waren begrenzt von ∞O (110).

Schliffe nach ∞O (110).

Die der Oberfläche entnommenen Schliffe polarisiren einheitlich, nur am Rande ist ringsum ein schmaler doppelbrechender Saum (Fig. 87, Taf. IV), der von den durchschnittenen benachbarten Flächen herrührt.

Das grosse Mittelfeld löscht aus, wenn die Richtungen der Diagonalen mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen; die Axe der kleinsten optischen Elasticität fällt mit der langen Diagonale der rhombischen Platte zusammen.

Im convergenten Licht bemerkt man den Austritt von zwei optischen Axen, die erste Mittellinie ist normal zur Plattenebene und die Ebene der optischen Axen geht der längeren Diagonale des Rhombus parallel. Da dies zugleich die Richtung der kleinsten optischen Elasticitätsaxe ist, so ist die erste Mittellinie die grösste optische Elasticitätsaxe, der Granat von Auerbach demnach bezüglich der zur Dodekaëderfläche normalen Mittellinie negativ.

In Schliffen $\| \infty O$, die dem Inneren der Krystalle entnommen sind, tritt das einheitlich polarisirende Mittelfeld immer mehr zurück und von jeder der durchschnittenen Dodekaëderflächen geht nach der Mitte zu ein doppelbrechendes Feld; jedes löscht parallel und senkrecht zu den Randkanten aus und die grösste optische Elasticitätsaxe ist normal zur Randkante eines jeden. Im Mittelfeld bleibt die Lage der optischen Axenebene constant.

Schliffe nach $\infty O \infty$ (100).

Dieselben stellen, wenn nahe der octaëdrischen Ecke entnommen, Quadrate oder Rechtecke dar, deren Seiten den Kanten des Würfels parallel gehen. In der Normalstellung tritt ziemlich vollständige Auslöschung ein, in der Diagonalstellung werden die Schliffe nur wenig heller. Nach Einschaltung des Gypsblättchens tritt Feldertheilung nach den Diagonalen hervor, in jedem Sector ist die kleinste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante (Fig. 88, Taf. IV).

Im convergenten Licht tritt in jedem Sector eine optische Axe normal zur Fläche aus (Figur 89), deswegen sind die Helligkeitsunterschiede im

parallelen Licht so gering. Da eine optische Axe normal zur Würfelfläche austritt und eine Würfelfläche sich verhält wie die anderen, so folgt hieraus, dass der innere Winkel der optischen Axen 90° beträgt.

Es ist sehr auffallend, dass in den anomalen Krystallen eine optische Axe so häufig normal zu einer Würfelfläche ist, wenn der Krystall nach einer der Würfelfläche benachbarten Krystallfläche optisch zweiaxig ist. Wir haben es hier bei Granat getroffen und haben es vorher bei Bleinitrat gesehen. Es ist ferner der Fall bei Boracit, Senarmontit und Perowskit. Jedoch besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen diesen Krystallen darin, dass Granat und Bleinitrat nur zweiaxig sind nach bestimmten Flächen, die andern aber immer.

Schliffe nach *O* (111).

Dieselben zeigen, von der trigonalen Ecke her genommen, schöne Dreitheilung nach den Ecken. Jedes Feld löscht parallel und senkrecht zu der Randkante aus, die grösste optische Elasticitätsaxe ist in jedem normal zu dieser (Fig. 90, Taf. IV).

Im convergenten Licht tritt in jedem Feld eine excentrische Barre aus.

Das Verhalten der Schliffe nach $\infty O \infty$ und *O* entspricht nach Lage der optischen Elasticitätsaxen, Austritt von optischen Axen und Feldertheilung ganz dem aus den dodekaëdrischen Schliffen erkannten Bau.

C. Klein bezeichnet daher diese an den rein dodekaëdrischen Krystallen beobachtete Structur als die normale Dodekaëderstructur.

Ähnlich wie der weisse Granat von Auerbach verhält sich der weisse Granat von Jordansmühl in Schlesien und braunrother Granat von der Mussa-Alp; die Granatoëderflächen sind bei beiden aber oft mit vicinalen Flächen bedeckt und hierdurch nähert sich ihr Verhalten dem des Topazolith.

Unter den Nitraten und Alaunen haben wir für die Dodekaëderstructur kein Analogon, da reine Dodekaëder bei ihnen nicht vorkommen.

Granat mit vorherrschendem Ikositetraëder. Lichtgrünlicher Granat vom Wiluifluss in Sibirien.

Die chemische Zusammensetzung ist nach Karsten (Rammelsberg, Mineralchemie p. 478):

SiO_2	38,25
Al_2O_3	19,35
Fe_2O_3	7,33
MnO	0,50
CaO	31,75
MgO	2,40
Summe =	99,58

Die vorherrschende Form ist $2O2$ (211) mit untergeordnetem ∞O (110) und $3O\frac{3}{2}$ (321). Bisweilen tritt ∞O (110) selbstständig auf, und die Krystalle

haben dann die Dodekaëderstructur des weissen Granat von Auerbach. Wir betrachten hier nur die ersteren.

Schliffe nach $2O2$ (211).

Die der Oberfläche entnommenen Schliffe sind einheitlich, wirken aber nur schwach auf das polarisirte Licht; die kleinere optische Elasticitätsaxe fällt in die Richtung der symmetrischen Diagonale.

Im convergenten Licht untersucht, erweisen sie sich als zweiaxig mit kleinem Axenwinkel. Die erste Mittellinie steht auf der Fläche $2O2$ (211) senkrecht, die Ebene der optischen Axen liegt normal zur symmetrischen Diagonale, der Charakter der Doppelbrechung rücksichtlich der ersten Mittellinie ist positiv.

Schliffe nach $\infty O \infty$ (100).

Wenn der Schliff nur die vier in einer octaëdrischen Ecke zusammenstossenden Flächen des Ikositetraëders durchschneidet, so zeigt er ein Zerfallen in vier, in den Diagonalen zusammenstossende Felder; in jedem ist die kleinste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante (Fig. 91, Taf. IV). Im convergenten Licht tritt nach der Angabe von C. Klein in jedem Sector eine excentrische Barre normal zu der Randkante aus. Wenn dies richtig wäre, würde die Ebene der optischen Axen innerhalb der Ikositetraëderfläche nicht normal zur symmetrischen Diagonale sein, sondern parallel derselben. An den mir zur Verfügung stehenden Präparaten konnte ich dies wegen der schwachen Doppelbrechung nicht entscheiden.

Geht der Schliff durch die Mitte des Krystalls, so durchschneidet er acht Ikositetraëderflächen und von jeder geht ein doppelbrechendes Feld in das Innere des Krystalls (Figur 92).

Schliffe nach O (111).

Dieselben zeigen Dreitheilung nach den Ecken, jedes Feld löscht parallel und senkrecht zu der Randkante aus; die kleinste optische Elasticitätsaxe ist normal zu derselben.

Im convergenten Licht soll in jedem Feld ein excentrischer Barren, normal zur Randkante gerichtet, austreten. Auch dies würde darauf hindeuten, dass die Ebene der optischen Axen in die symmetrische Diagonale der Ikositetraëderfläche fällt. Der optische Charakter würde dann nicht positiv, sondern negativ sein, da innerhalb der Ikositetraëderfläche die kleinste optische Elasticitätsaxe in die optische Axenebene fallen würde, die erste Mittellinie also grösste Elasticitätsaxe wäre.

Schliffe nach ∞O (110).

Schliffe parallel einer natürlichen Krystallfläche der Oberfläche entnommen zeigen ein einheitliches Mittelfeld umgeben von vier den Randkanten parallelen Feldern, die bisweilen durch wechselnde Stärke der Doppelbrechung deutlich zonar gebaut erscheinen (Figur 93).

Das Mittelfeld ist fast einfachbrechend, in jedem der doppelbrechenden Randfelder ist die grösste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante.

Im convergenten Licht soll man in jedem Feld sehr undeutlich eine Barre austreten sehen, die sich senkrecht zu der äusseren Rhombenseite stellt. Wie ich mich überzeugen konnte, sind die Erscheinungen so undeutlich, dass man hierauf keinen besondern Werth legen kann; am sichersten wird die Richtung der optischen Axenebene in Schliffen senkrecht zur ersten Mittellinie — hier also in solchen parallel den Ikositetraëderflächen — erkannt, und in diesen ist sie nach den Angaben C. Klein normal zur symmetrischen Diagonale; die hiermit nicht in Übereinstimmung zu bringenden andern Angaben können leicht auf Beobachtungsfehlern beruhen.

Rückt der Schliff mehr nach der Mitte zu, so durchschneidet er wieder mehr Ikositetraëderflächen und wie bei dem Würfelschnitt geht auch hier von jeder ein doppelbrechendes Feld in das Innere (Figur 94).

Diese Structur bezeichnet C. Klein als die Ikositetraëderstructur.

Topazolith von der Mussa-Alp.

Die kleinen, gelblichen oder grünlichen Krystalle dieses Granats gleichen Dodekaëdern, deren Flächen nach den Diagonalen geknickt sind; ihre Form ist daher ein dem Dodekaëder vicinaler Achtundvierzigflächner, der als $64 O \frac{64}{63}$ (64.63.1) bestimmt ist. Über jeder Fläche des Dodekaëders bilden die vicinalen Flächen eine flache vierseitige Pyramide, deren Spitze bald über der Mitte, bald mehr nach dem Rande zu liegt.

Das optische Verhalten dieses Granats war schon von Mallard (10) und Bertrand (13) erforscht. C. Klein konnte die Angaben derselben im wesentlichen bestätigen, nur hat er die Winkel der Auslöschungsrichtungen nicht so constant gefunden, wie namentlich Mallard angiebt.

Schliffe nach ∞O (110).

Dieselben zeigen im parallelen polarisirten Licht Viertheilung nach den Diagonalen, welche genau den äusseren Pyramiden auf der natürlichen Fläche entspricht. Jeder äussere Flächenknick giebt sich im Innern als die Grenze von optisch differenten Feldern zu erkennen (Fig. 95, 96, Taf. IV). Nicht immer ist daher die Theilung in geometrischem Sinne nach den Diagonalen, sondern häufig nach den parallel verschobenen Richtungen derselben anzutreffen (Figur 97). Es kommen in dieser Hinsicht eine Fülle von Unterfällen vor, unter andern gar nicht selten auch doppelte Viertheilung, wenn die vicinalen Pyramiden von zwei Erhebungspunkten auf derselben Fläche ausgehen.

Die Auslöschung erfolgt in jedem einzelnen Felde bisweilen normal zu der Randkante (Fig. 95, 96), meist aber schief hierzu (Fig. 97). Mallard hatte die Auslöschungsschiefe zu 8° gefunden, C. Klein dagegen giebt an, dass Auslöschungsschiefen von 2°, 5°, 8°, 10°, 12°, 17° und darüber vorkommen. In dem ersten Fall ist die grösste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante in jedem Feld, in den andern Fällen entsprechend schief hierzu.

Die Untersuchung im convergenten Licht ergiebt, dass die erste Mittellinie mehr oder weniger schief zur Oberfläche, und die Ebene der optischen Axen, in Übereinstimmung mit den Auslöschungsrichtungen, parallel (Fig. 95) oder wenig schief zur Randkante eines jeden Feldes ist. Da innerhalb der Plattenebene die kleinere optische Elasticitätsaxe in die Ebene der optischen Axen fällt, so ist die erste Mittellinie die grösste optische Elasticitätsaxe und der Krystall bezüglich dieser negativ.

Schliffe nach $\infty O \infty$ (100).

In denselben herrscht mehr oder weniger regelmässige, bisweilen sehr unregelmässige Theilung nach den Seiten und Ecken, die am besten in einer Zwischenstellung zwischen Normal- und Diagonalstellung hervortritt (Fig. 98). In jedem der acht Felder ist die grösste optische Elasticitätsaxe nach der Randkante hin gerichtet. Die Werthe der Auslöschungsschiefen sind in verschiedenen Präparaten sehr wechselnd, die Grenzen der Felder unregelmässig.

Im convergenten Licht tritt in jedem Feld eine excentrische Barre aus.

Schliffe nach O (111).

Dieselben zeigen Feldertheilung nach den Ecken und Seiten (Fig. 99); eine Platte zerfällt im allgemeinen in sechs Felder, deren Begrenzung oft krummlinig und deren gegenseitige Ausdehnung wechselnd ist. Die Auslöschungsrichtungen sind wie in den Dodekaëder- und Würfelschliffen variabel, die grösste optische Elasticitätsaxe ist in jedem Feld nach der Randkante hin gerichtet.

Im convergenten Licht tritt in jedem Feld eine excentrische Barre aus.

Der Topazolith verhält sich optisch wie aus 48 triklinen Individuen zusammengesetzt, er ist der Typus der Topazolithstructur.

Granaten mit Zonenstructur.

Von den bisher betrachteten Granaten zeigten die Schliffe in der Regel wohl Feldertheilung, aber innerhalb eines jeden Feldes blieb sich der optische Charakter gleich.

Es kommt aber auch oft vor, dass doppelbrechende, der äusseren Begrenzung parallel gehende Zonen mit einfachbrechenden, und doppelbrechende Zonen von verschiedenem optischen Charakter mit einander abwechseln. Nach

den Untersuchungen von C. Klein findet man dies am schönsten an dem grünen Granat von Breitenbrunn, dem braunen Granat von St. Christoph bei Breitenbrunn, dem braungelben Granat von Schwarzenberg in Sachsen und dem grünen Granat von San Marco in Peru.

Diese Granaten verhalten sich den übrigen analog und weichen nur durch den Zonenbau von ihnen ab.

Einfachbrechende Zonen zwischen doppelbrechenden sind u. a. in dem Granat von San Marco (Fig. 100) und dem von St. Christoph bei Breitenbrunn beobachtet; zuweilen tritt hierzu noch ein einfachbrechender Kern.

Doppelbrechende Zonen von verschiedenem optischen Charakter treten in dem grünen Granat von Breitenbrunn (Fig. 101) und in dem von St. Christoph bei Breitenbrunn (Fig. 102) auf. In dem ersten ist die kleinste optische Elasticitätsaxe in der inneren Zone normal zur Randkante, in der äusseren Zone ihr parallel, in dem andern Granat gerade umgekehrt.

In Begleitung dieser Zonenstructur kommt es vor, dass ein Krystall im Innern eine andere Form und demgemäss anderes optisches Verhalten zeigt als aussen. Zum Beispiel kommen unter dem braunen Granat von St. Christoph bei Breitenbrunn Krystalle vor, welche zuerst Granatoëder waren, dann Ikositetraëder und zuletzt wieder Granatoëder wurden (Fig. 103). In dem dodekaëdrischen Kern ist die kleinste Elasticitätsaxe normal zur Randkante, in der ikositetraëdrischen Zone die grösste. Der Granat von Schwarzenberg in Sachsen zeigt in Medianschliffen nach $\infty O(110)$ ein rhombisches Mittelfeld mit Topazolithstructur, d. h. Viertheilung nach den Diagonalen und wechselnde schiefe Auslöschung in jedem Felde. Dasselbe ist nach aussen von ebenfalls doppelbrechenden Zonen umgeben, die aber normal zu den Randkanten auslöschen (Fig. 104). Hier haben wir also eine Verbindung der Dodekaëder- mit der Topazolithstructur, vorher der Dodekaëder- mit der Ikositetraëderstructur.

In andern Fällen, z. B. in dem braunen Granat von St. Christoph bei Breitenbrunn, wird dadurch Zonenstructur hervorgerufen, dass die Einwirkung auf das polarisirte Licht von innen nach aussen allmählich zunimmt und die Interferenzfarben ansteigen, von dem Blau der II. Ordnung bis zum Grün der III. Ordnung etc. je nach der Dicke verschieden.

Alle diese bei Granat beobachteten Fälle von Zonenstructur kann man in Krystallen der Alaune und Nitrate durch einen Wechsel in der Zusammensetzung der Lösung beliebig hervorrufen.

Einfachbrechende Zonen abwechselnd mit doppelbrechenden erhalte ich, wenn ich einen Alaunkrystall bald in reiner, bald in gemischter Lösung wachsen lasse; doppelbrechende Zonen von verschiedenem optischen Charakter, wenn ich Alaunmischkrystalle in verschieden gemischten Lösungen wachsen lasse. Normal auslöschende Schichten bilden sich über Kernkrystallen mit »Topazolithstructur«, wenn ein Mischkrystall mit vicinalen Flächen in einer anders zusammengesetzten Lösung weiter wächst; und endlich Zonenstructur durch steigende Interferenzfarben zeigen die Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat.

Zusammenfassung der Resultate und Versuch einer Erklärung.

Wenn wir nun die Beziehungen ins Auge fassen, welche zwischen dem optischen Verhalten der durch isomorphe Beimischung doppelbrechend gewordenen regulären Krystalle und ihrer äusseren Form bestehen, so sehen wir, dass das erstere von der letzteren abhängt. Die Krystalle sind nämlich (wenn wir die offenbar durch Störungen bedingten Erscheinungen vernachlässigen):

nach dem Würfel einfachbrechend,
- dem Octaëder optisch einaxig, die optische Axe ist normal zu den Octaëderflächen,
- dem Granatoëder optisch zweiaxig, eine (erste) Mittellinie ist normal zu jeder Fläche von ∞O, die Ebene der optischen Axe fällt in eine der Diagonalen,
- dem Ikositetraëder optisch zweiaxig, die erste Mittellinie ist normal zu jeder Fläche von $2O2$, die Ebene der optischen Axen normal zur symmetrischen Diagonale jeder Fläche,
- dem Pyritoëder optisch zweiaxig, nur eine optische Axe tritt schief zu den Flächen von $\frac{\infty O2}{2}$ aus, die erste Mittellinie ist ebenfalls schief zu diesen Flächen, die Ebene der optischen Axen fällt in die Richtung der symmetrischen Höhenlinie,
- einem Achtundvierzigflächner optisch zweiaxig, die erste Mittellinie ist schief zur Oberfläche, die Ebene der optischen Axen schief zu den Begrenzungselementen.

In dieser Weise verhalten sich die Krystalle aber nur dann, wenn die betreffenden Flächen als Krystallflächen wirklich ausgebildet sind. Wenn dagegen z. B. der Würfel als Krystallfläche nicht vorhanden ist, so sind die Schliffe nach dem Würfel immer doppelbrechend, wenn der Krystall überhaupt doppelbrechend ist. Schliffe nach dem Octaëder sind niemals optisch einaxig bei Krystallen, an denen Octaëderflächen nicht ausgebildet sind, und Schliffe nach einer Granatoëderfläche sind niemals optisch zweiaxig mit zur Oberfläche normaler Mittellinie, wenn der Krystall nicht von Granatoëderflächen begrenzt war.

Wenn aber mehrere der genannten Flächen an einem Krystall auftreten, so kann nach jeder die ihr eigenthümliche Structur herrschen; wir haben dies an den Mischkrystallen von Blei- und Baryumnitrat kennen gelernt. Wenn ein solcher Krystall von $\infty O \infty$, O und $\frac{\infty O2}{2}$ begrenzt ist, so ist er einfachbrechend nach $\infty O \infty$, doppelbrechend, optisch einaxig, positiv nach O und zweiaxig negativ nach $\frac{\infty O2}{2}$, aber alles nur in dem Bezirk der betreffenden Fläche.

Man kann daher diese Mischkrystalle nicht als einaxig oder zweiaxig schlechthin bezeichnen, da selbst ein einzelner Krystall keinen einheitlich gleichen Charakter besitzt. Man betrachtet besser nicht den Krystall als ganzes, sondern nach den Flächen, welche ihn begrenzen, im einzelnen.

Hierbei ergiebt sich nun die auffallende Thatsache, dass das optische Verhalten nach einer Fläche mit der geometrischen Symmetrie derselben in einem gewissen, nicht zu verkennenden Zusammenhang steht.

Die Würfelfläche würde für sich den Charakter der Basis eines quadratischen Krystalls haben, zwei Paare von Symmetrielinien gehen über dieselbe hin. Die Normale zur Würfelfläche ist aber gleich zweien dieser Symmetrielinien und bedingt den regulären Charakter der Würfelfläche. Die Krystalle mit der Würfelfläche sind nach ihr einfachbrechend.

Die Octaëderfläche hat den Charakter der Basis eines hexagonal-rhomboëdrischen Krystalls; drei gleiche Symmetrielinien schneiden sich unter 120°. Die Normale zur Octaëderfläche ist von diesen verschieden, sie entspricht der krystallographischen Hauptaxe. In optischer Beziehung sind die Krystalle nach den Octaëderflächen einaxig, die optische Axe fällt mit der Flächennormalen zusammen.

Die Granatoëderfläche hat geometrisch den Charakter eines Pinakoids im rhombischen System; zwei untereinander verschiedene Symmetrielinien schneiden sich unter 90°. Die Krystalle sind nach diesen Flächen optisch zweiaxig, die Ebene der optischen Axen fällt in eine der Symmetrielinien, die (erste) Mittellinie ist zur Oberfläche normal.

Die Ikositetraëderfläche ist zu vergleichen mit einer Fläche aus der Zone der Orthodomen im monoklinen System, eine Symmetrielinie geht über sie hin. Die Krystalle sind nach ihr optisch zweiaxig, und die Ebene der optischen Axen ist normal zur Symmetrielinie; wir würden horizontale Dispersion erwarten. Sie könnte vielleicht auch dieser parallel sein, dann aber brauchten nicht beide Axen auf der Fläche auszutreten.

Die Pyritoëderfläche hat geometrisch denselben Charakter, die einzige Symmetrielinie fällt in die Richtung der Höhenlinie. Die Ebene der optischen Axen fällt in die Richtung der Symmetrielinie und nur eine optische Axe tritt schief zur Fläche aus; wir würden geneigte Dispersion erwarten. Der andere vielleicht mögliche Fall, dass die Ebene der optischen Axen normal zur Symmetrielinie liegt, ist nicht beobachtet.

Die Fläche eines Achtundvierzigflächners hat geometrisch keine Symmetrielinie, sie verhält sich auch optisch asymmetrisch.

Dieser enge Zusammenhang zwischen der geometrischen Symmetrie der Krystallflächen und dem optischen Verhalten der von ihnen ausgehenden Pyramiden scheint den Weg anzudeuten, auf dem man zu einer Erklärung dieser Erscheinungen wird kommen können.

Das Auftreten der Doppelbrechung in diesen regulären Krystallen hängt unzweifelhaft von dem Vorhandensein einer isomorphen Beimischung ab. Für

die Nitrate und Alaune ist dies bewiesen, für den Granat können wir es aus dem ganz analogen optischen Verhalten und seiner chemischen Zusammensetzung, welche isomorphe Beimischung erkennen lässt, mit grosser Sicherheit schliessen; ebenso für die andern hierher gestellten Krystalle.

Die Risse in den Mischkrystallen der Nitrate und Alaune, das oft plötzliche Zerspringen während des Wachsthums deuten darauf hin, dass die Krystalle sich in einem Spannungszustand befinden.

Innere Spannungen können, wie wir gesehen haben, bei dimorphen Körpern entstehen, wenn die Volumina der verschiedenen Modificationen einer Substanz verschieden sind. Innere Spannungen entstehen aber auch durch Druck, Zug, schnelle Kühlung und dergleichen und geben sich durch abweichend optisches Verhalten zu erkennen.

Die Annahme von Dimorphie oder vielmehr Polymorphie ist hier ausgeschlossen, da durch sie die Erscheinungen nicht erklärt werden können. Die einfache Lichtbrechung der reinen Krystalle, selbst wenn diese polyëdrisch sind, ist der erste Grund, welcher gegen diese Annahme spricht. Mallard sieht in den polyëdrischen Formen gleichsam die Bausteine, welche durch immer wechselnde Orientirung die Krystalle aufbauen: »Ces faces singulières et anomales (die vicinalen Flächen) sont celles que tend naturellement à faire naitre la véritable forme primitive de la substance.« Wenn die reinen einfachbrechenden Krystalle wirklich als submikroskopische Zwillingsbildungen trikliner Individuen aufgefasst werden könnten, so müssten doch diese Individuen da, wo sie hervortreten, in den polyëdrischen Formen, doppelbrechend sein. Dies ist bei dem reinen, mit vicinalen Flächen bedeckten Alaun niemals der Fall. Und warum sollten überhaupt nur die Substanzen mit isomorpher Beimischung dimorph sein, die Krystalle der reinen Substanzen aber nur regulär? Die Mallard'sche Hypothese bleibt uns auch hierauf die Antwort schuldig.

Der oben betonte Zusammenhang zwischen der geometrischen Symmetrie der Krystallflächen und dem optischen Verhalten der von ihnen ausgehenden Pyramiden kann ebenfalls durch Annahme von Dimorphie nicht erklärt werden. Namentlich vermag ich mir nicht vorzustellen, wie durch submikroskopische Zwillingsbildung die Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat nach der Octaëderfläche einaxig positiv werden, während sie nach der Pyritoëderfläche zweiaxig negativ sind. Überhaupt ist eine derartige Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung an Krystallen dimorpher Substanzen, Boracit und andern niemals beobachtet, sie kann diesen gegenüber geradezu als Unterscheidungsmerkmal dienen.

Endlich ist das Verhalten der Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat bei dem Erwärmen nicht das dimorpher Substanzen, sondern gespannter. Die Eigenschaft, dass sie durch Erwärmen und allmähliches Abkühlen dauernd fast einfachbrechend werden, haben sie mit dem gekühlten Glase gemein und dies verbindet sie mit der vorigen Gruppe.

Wir nehmen daher an, dass die Doppelbrechung der Mischkrystalle Spannungsdoppelbrechung ist.

Denken wir uns statt der Symmetrielinien und Flächennormalen (vergl. die Zusammenstellung auf p. 254) Druck- oder Zugkräfte, welche in diesen Richtungen wirken, so würden sie in einer comprimirbaren und dehnbaren Substanz dieselben optischen Erscheinungen hervorrufen, wie wir sie an den Krystallen kennen gelernt haben. Die Körper werden hierdurch gleichförmig comprimirt und dilatirt und für die hierdurch entstehende Doppelbrechung gelten die Fresnel'schen Gesetze (vergl. Neumann, oben p. 29).

Drei auf einander senkrechte gleiche Druckkräfte würden die einfache Lichtbrechung nicht ändern.

Ein normal zur Oberfläche ausgeübter Druck, verschieden von den innerhalb der Platte wirkenden, gleichen Kräften, bewirkt optische Einaxigkeit; die optische Axe fällt in die Druckrichtung. Das bekannte Experiment von Brewster (vergl. oben p. 12) bestätigt dies. Auch reguläre Krystalle werden durch einseitigen Druck senkrecht zu einer Octaëderfläche optisch einaxig. »Jedoch ist der Umstand bemerkenswerth, dass sich bei Annäherung der Druckrichtung an eine Octaëdernormale der Axenwinkel in allen Fällen unendlich schnell ändert, so dass es praktisch unmöglich sein würde, einen regulären Krystall durch einseitigen Druck parallel einer Octaëdernormale genau optisch einaxig zu machen« (nach F. Pockels; W. A. Bd. 39, und Referat im N. Jb. 1890, II. 369). Hiermit mag es zusammenhängen, dass die Schliffe nach Octaëderflächen aus den Mischkrystallen von Blei- und Baryumnitrat, Granat etc. vielfach namentlich am Rande zweiaxig sind.

Ein normal zur Oberfläche ausgeübter Druck in Verbindung mit einem Druck in einer hierzu senkrechten seitlichen Richtung bewirkt optische Zweiaxigkeit. Durch eine Abänderung des Brewster'schen Versuches kann man sich leicht hiervon überzeugen.

Reguläre Krystalle können durch einseitigen Druck in krystallographisch verschiedenen Richtungen nicht nur verschieden stark doppelbrechend werden (vergl. p. 160), sondern es kann sogar der Charakter der Doppelbrechung nach krystallographisch verschiedener Richtung verschieden werden, wie wir es von Sylvin und Flussspath wissen (vergl. oben p. 152). Verschiedenen Charakter der Doppelbrechung in verschiedenen Richtungen haben wir auch in den Mischkrystallen von Blei und Baryum angetroffen; sie sind positiv nach den Octaëder-, negativ nach den Pyritoëderflächen. Durch einen Versuch haben wir dann zeigen können, dass Bleinitrat gegen Druck in denselben krystallographisch verschiedenen Richtungen sich ebenso verschieden verhält; die Krystalle werden durch Druck nach den Octaëderflächen negativ, durch Druck nach den Pyritoëderflächen positiv doppelbrechend. Wie will man nun das Zustandekommen der Doppelbrechung in diesen Mischkrystallen anders erklären als durch die Annahme von Spannungen?

Den natürlichen Verhältnissen z. Th. besser als bei diesen Druckversuchen entsprechend, können die optischen Erscheinungen der Mischkrystalle durch Gelatine-Modelle nachgeahmt werden. Mit solchen Versuchen haben sich

namentlich F. Klocke[1]), C. Klein (15) und A. Ben-Saude[2]) beschäftigt, und in der vollen Analogie der Erscheinungen mit denen des Granat sah C. Klein mit Recht eine Stütze für seine Ansicht, dass »eine in Beziehung zu den Umgrenzungselementen (Kanten) wirkende Contraction und eine solche normal zu den vorhandenen Flächen als die Ursachen, die zu den optischen Veränderungen Veranlassung geben, zu betrachten sind. Überwiegt der Einfluss der Umgrenzungselemente, so bildet sich die Feldertheilung, präponderirt die Wirkung normal zur Fläche, so bleibt letztere einheitlich[3]).«

A. Ben-Saude hat von Würfel, Octaëder, Dodekaëder und Ikositetraëder Hohlformen dargestellt und diese mit Gelatine ausgegossen. Die nach mässigem Eintrocknen aus diesen Körpern geschnittenen Präparate zeigten ebensolche Feldertheilung wie Schliffe aus anomalen Krystallen, aber keine einheitlich polarisirende Flächen. Diese bilden sich nach Beobachtung von C. Klein dann, wenn die Gelatineplatten unter hinlänglich starkem Druck erstarren. Hierin sieht C. Klein den Grund der Bildung einheitlicher Flächenfelder.

Bei den optisch zweiaxigen Präparaten dieser Art ist die Mittellinie senkrecht zur Fläche, aber nur dann, wenn diese eben ist, im andern Fall wird sie schief hierzu. Durch diese Beobachtungen wurde C. Klein dazu geführt, auch die Topazolithstructur durch Gelatinepräparate nachzuahmen:

»Wenn man in Holzrähmchen von der Form des Rhombus des Dodekaëders gut geklärte Gelatine giesst; in das Feld nach dem Erstarren und vor dem völligen Erhärten der Masse die Diagonalen zart einreisst, oder, wie es beim Topazolith der Fall, die dort in sehr wechselnder Weise erscheinende Felderteilung mit einem Messer zart einträgt, dann durch den Kreuzungspunkt der Diagonalen oder ihrer Parallelen einen Faden, mit einer Widerlage an einem Ende versehen, zieht, anzieht, eine Pyramide zur Erhebung bringt und so erstarren lässt, — so gelingt es, die wechselnden Erscheinungen des Topazolith nachzuahmen und zwar so, dass man zu jedem Topazolithpräparat das zugehörige Gelatinepräparat machen kann. Letztere zeigen, was Lage der Axenebenen und Schiefe der Mittellinien anlangt, eine vollständige Übereinstimmung mit dem natürlichen Vorkommen.«

Auf alle diese Versuche fussend, nehmen wir zur Erklärung der in regulären und andern isomorphen Mischkrystallen beobachteten optischen Anomalien an, dass dieselben durch innere Spannungen hervorgerufen werden. Die Spannungen entstehen durch den Eintritt der zwar isomorphen, aber doch chemisch und physikalisch etwas verschiedenen Substanz. Mit dem Eintritt der isomorphen Substanz kommen während des Entstehens und Wachsens der

---

1) N. Jb. 1881, II. p. 261—266.

2) N. Jb. 1882, I. p. 72.

3) Die von C. Klein hierbei aufgeworfene Frage: »Sollte sich nicht dadurch das verschiedene Verhalten der Alaunoctaëder nach Mallard und Klocke erklären lassen?« ist durch meine oben mitgetheilten Beobachtungen (p. 219 u. 228) über die Abhängigkeit der Feldertheilung von der Lage während des Wachsthums in bejahendem Sinne entschieden worden.

Krystalle gewisse Kräfte zur Wirkung, welche Spannungen und hiermit optische Anomalien hervorrufen.

Wenn wir uns vorstellen, dass bei dem Wachsen der Krystalle die Theilchen sich in Ebenen nach bestimmten Richtungen ablagern, welche nach aussen als Krystallflächen auftreten, und mit F. Becke[1] die parallel einer Fläche abgelagerte Substanz als Anwachskegel bezeichnen, so können wir hinzufügen:

Die durch isomorphe Beimischung in den optisch anomalen Krystallen auftretenden Kräfte ändern in den zu vorhandenen Krystallflächen gehörenden Anwachskegeln das optische Verhalten nach der geometrischen Symmetrie dieser Flächen.

Welcher Art diese Kräfte sind und unter welchen Bedingungen sie erzeugt werden, wissen wir bis jetzt nicht. R. Brauns hat früher (N. Jb. 1885, I. p. 118) einmal die Vermuthung geäussert, dass vielleicht »die verschiedene Grösse des Volumens der Moleküle und die verschiedene Stärke des Brechungsvermögens eine gewisse Rolle spielen«, jedoch scheint dies nicht der Fall zu sein. Gerade um dies zu prüfen, hatte ich thalliumhaltige Alaunmischkrystalle dargestellt, weil das Molekularvolumen von Thalliumalaun (=566) sich von dem des Kalialauns (= 546,7) mehr unterscheidet, als das des letzteren von dem des Ammoniakalauns (= 555,8). Wenn nun die verschiedene Grösse des Molekularvolumens auf das Zustandekommen und die Stärke der Doppelbrechung von irgend einem Einfluss wäre, sollte man erwarten, dass die thalliumhaltigen Mischkrystalle stärker doppelbrechend sind als die anderen; wir haben aber gefunden, dass diese überhaupt nicht doppelbrechend, sondern normal einfachbrechend sind. Auch würde man bei dieser Annahme keine Erklärung dafür haben, dass die Mischkrystalle derselben beiden Componenten bei jedem Mischungsverhältniss gleichen optischen Charakter haben, solche verschiedener Componenten aber verschiedenen optischen Charakter haben können.

Ein anderer Erklärungsversuch stammt von O. Lehmann (Molekularphysik, I. p. 450) und ist vielleicht eher zutreffend. Nimmt man mit ihm an, dass die Mischkrystalle mechanische Gemenge der beiden verschiedenartigen Substanzen seien, und dass die Temperatur im Momente der Anlagerung höher sei als nach vollendeter Anlagerung, so liesse sich wohl das Auftreten von Spannungen durch die Differenz der thermischen Ausdehnungscoëfficienten erklären, zumal da diese nach verschiedenen Richtungen verschieden sind, wodurch regelmässig orientirte Spannungen entstehen müssten.

Die isomorphen Mischungen fasst man wohl allgemein als mechanische Gemenge — im Gegensatz zu chemischen Verbindungen — auf. »In diesen Krystallen werden die verschiedenartigen Molekel in paralleler Stellung angeordnet sein, indem sie bald schichtenweise abwechseln, bald aber in solcher Art gemischt sind, dass die Krystalle gleichartig aussehen ..... Die isomorphen Mischungen sind überhaupt dadurch erklärt, dass man sie als innige

[1] F. Becke, Ätzversuche am Fluorit. T. M. M. XI. p. 385; vergl. auch bei Flussspath.

parallele Verwachsungen bezeichnet« (G. Tschermak, Mineralogie, II. Aufl. p. 259).

Die Temperatur kann im Momente der Anlagerung neuer Substanz höher sein wie später, weil durch das Auskrystallisiren Wärme frei wird. Die thermischen Ausdehnungscoëfficienten würden in krystallographisch gleichen Richtungen gleich, in verschiedenen Richtungen aber verschieden sein und hierdurch würde vielleicht die oben hervorgehobene Übereinstimmung in der Symmetrie der Flächen und der des optischen Verhaltens zu erklären sein. Das optische Verhalten innerhalb eines Flächenbezirkes würde um so einheitlicher sein, je regelmässiger die isomorphen Substanzen schichtenweis abwechseln.

Diese Erklärung hat viel Wahrscheinlichkeit für sich und es wäre sehr erwünscht, wenn von den Physikern Versuche angestellt würden, um sie auf ihre Richtigkeit zu prüfen, sie zu bestätigen oder eine andere richtige Erklärung zu finden. Es herrschen hier Verhältnisse, die wir noch nicht kennen, vielleicht ahnen wir das richtige, vielleicht aber sind die optischen Anomalien dieser Mischkrystalle die Äusserungen von Kräften, welche ihrem Wesen und Wirken nach noch unbekannt sind. Die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen und Versuche deuten darauf hin, dass es Druck- und Zugkräfte sind, welche die Anomalien erzeugen.

Anomalien durch isomorphe Beimischung in hexagonalen und quadratischen Krystallen.

Unterschwefelsaures Blei, Strontium und Calcium.

Literatur.

1. F. Klocke. Über ein optisch anomales Verhalten des unterschwefelsauren Blei. N. Jb. 1880, II, p. 97—99.

2. G. Bodländer. Über das optische Drehungsvermögen isomorpher Mischungen aus den Dithionaten des Bleis und des Strontiums. Diss. Breslau 1882.

3. G. Wyrouboff. Sur les phénomènes optiques de l'hyposulfate de plomb. Bull. min. VII. p. 49—56. 1884.

4. R. Brauns. Einige Beobachtungen und Bemerkungen zur Beurtheilung optisch anomaler Krystalle. Diss. Marburg 1885. N. Jb. 1885, I. p. 110—113.

5. G. Wyrouboff. Sur la pseudosymetrie des hyposulfates hydratés doués du pouvoir rotatoire. Bull. min. VIII. p. 78—85. 1885.

6. —— Recherches sur la structure des corps cristallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. Sér. VI. T. VIII. p. 340—345. 1886.

Die unterschwefelsauren Salze von Blei, Strontium und Calcium krystallisiren mit vier Molekülen Wasser hexagonal, für das Bleisalz ist die Zugehörigkeit zur trapezoëdrisch-tetartoëdrischen Abtheilung durch die Formenausbildung bestimmt[1]), für die beiden andern nicht. Auch die Ätzfiguren, welche Baumhauer[2]) an diesen beiden Salzen beobachtet hat, sprechen nicht für

[1]) A. Brezina. S. W. A. 64. I. 1871.

[2]) Z. Kr. I. p. 55.

trapezoëdrische Tetartoëdrie. Da die Krystalle aber alle in gleicher Weise Circularpolarisation besitzen und diese auf Enantiomorphie hinweist, so kann man trapezoëdrische Tetartoëdrie für alle annehmen, oder aber diese Frage als eine offene betrachten.

Das Drehungsvermögen ist in allen schwach, ebenso die Doppelbrechung; der optische Charakter ist positiv bei dem Bleisalz, negativ bei den beiden andern.

Die reinen Salze verhalten sich optisch normal. In voller Strenge gilt dies nach meinen Beobachtungen von dem Strontium- und Calciumsalz. Im parallelen Licht erscheinen Platten parallel der Basis wegen der Circularpolarisation in einem bläulichen Ton, der über die ganze Ausdehnung gleichmässig ist und bei dem Drehen des Präparates sich nicht ändert; von Feldertheilung ist keine Spur zu bemerken. In homogenem Licht tritt nach geringer Drehung eines Nicols vollständige Auslöschung ein. Im convergenten Licht erscheint das Bild einaxiger Krystalle, welches bei einer vollen Umdrehung des Präparates unbeweglich stehen bleibt. Die Circularpolarisation ist bei convergentem Licht nur in dickeren Platten deutlich zu bemerken.

Das Bleisalz zeigt in dünneren Krystallen ebenfalls vollkommen normales optisches Verhalten, in dickeren Platten erscheinen nach R. Brauns die Ringe in gewissen Stellungen etwas deformirt, und das schwarze Kreuz weicht bei dem Drehen der Platte ein wenig auseinander. Werden die Krystalle aber dünner geschliffen, so geben sie das normale Axenbild einaxiger Krystalle, welches, wie ich mich an Krystallen aus reiner Substanz oft überzeugt habe, bei einer ganzen Umdrehung absolut unverändert bleibt. Die Ursache dieser geringen Deformationen ist, wie R. Brauns meint, vielleicht in der Wirkung der Schwere zu suchen. Nach Bodländer (3) zeigen auch allmählich gross gezogene Krystalle des Strontiumsalzes im convergenten Licht Zweiaxigkeit, im parallelen Licht Feldertheilung.

Will man in Bezug auf Reinheit dieser Salze sicher sein, so stellt man sie am besten unter den nöthigen Vorsichtsmassregeln selbst dar, da die käuflichen Salze meist nicht rein sind; in dem Bleisalz fand R. Brauns Calcium, Strontium und Baryum.

Die optischen Anomalien geben sich in Platten parallel der Basis durch Feldertheilung im parallelen, Zweiaxigkeit im convergenten Licht zu erkennen.

Die von F. Klocke (1) untersuchten Krystalle des Bleisalzes zerfallen im parallelen Licht in sechs Felder, welche durch sechs dunkle, schmale, von der Mitte nach den Ecken laufende Banden getrennt werden. Die sechs Felder erscheinen sämmtlich hellblau, heben sich aber durch verschiedene Helligkeit von einander ab; nur je zwei gegenüberliegende sind gleich hell. Dreht man die Platte um die Instrumentaxe, so werden die Sectoren abwechselnd dunkler und heller, keiner aber besitzt eine Lage vollständiger Auslöschung. Im convergenten Licht erweist sich jeder Sector als zweiaxig, die Ebene der optischen Axen ist in jedem normal zur anliegenden Randkante; die grösste optische Elasticitätsaxe innerhalb der Plattenebene ebenfalls normal zur Randkante in jedem Sector, der optische Charakter demnach

positiv, wie der des reinen Bleisalzes. Nach der Ansicht von F. Klocke liegt hier eine Structuranomalie vor, welche sich in jedem der sechs Stücke als eine gleichförmige Compression senkrecht zu der anliegenden Fläche des Prismas I. Ordnung darstellt.

G. Wyrouboff (3) fand ebenfalls basische Platten des Bleisalzes in sechs von den Kanten bezw. Prismenflächen ausgehende Felder getheilt, die Lage der optischen Axenebene aber schwankend. Ein mehr oder weniger regelmässiges schwarzes Interferenzkreuz gaben nur die dunklen, die Felder trennenden Banden. Innerhalb der Felder selbst waren die Krystalle zweiaxig, die Grösse des Axenwinkels änderte sich in demselben Krystall beim Dünnerschleifen, die Ebene der optischen Axen hat in jedem Feld eine andere, von den benachbarten abweichende Lage. Die Figur 106 auf Tafel IV ist eine Copie der von Wyrouboff gezeichneten.

Neben anomalen Krystallen hat Wyrouboff auch vollkommen normale, d. h. einaxige beobachtet (3. p. 54): »Il est certain pourtant — et ceci mérite d'être remarqué — qu'en lames très minces, telles qu'on les obtient au début de la cristallisation ou dans une goutte qu'on évapore sous le microscope, l'hyposulfate de plomb paraît souvent parfaitement homogène et se comporte, en lumière parallèle et en lumière convergente, comme un corps parfaitement uniaxe.« Trotzdem nimmt Wyrouboff an, das unterschwefelsaure Blei bestünde aus optisch zweiaxigen Lamellen und sei nach Art der Glimmercombinationen aufgebaut: »L'hyposulfate de plomb doit être rangé sans hésitation dans la catégorie des substances dans lesquelles le pouvoir rotatoire est purement accidentel et nullement spécifique.« Auf die Beweise für diese Behauptung werden wir gleich näher eingehen.

Gegenüber dieser Annahme Wyrouboff's konnte R. Brauns (4) nachweisen, dass optische Anomalien in dem unterschwefelsauren Blei, Strontium und Calcium dann auftreten, wenn die Krystalle isomorphe Beimischung enthalten:

»Mischkrystalle von unterschwefelsaurem Blei und Calcium verhielten sich verschieden, je nachdem der Kalkgehalt zurücktrat oder vorherrschte; im ersteren Falle war der optische Charakter wie der des Bleisalzes, also positiv, im letzteren Falle wie der des Kalksalzes, also negativ. Mischkrystalle sind nach Sénarmont[1]) bei einer bestimmten Zusammensetzung für gewisse Farben des Spectrums isotrop. Es entspricht demnach das optische Verhalten dieser Mischkrystalle dem des Apophyllits (Vesuvians, Chabasits etc.).

»Die Mischkrystalle mit vorwiegendem Bleigehalt zerfielen, in Platten ‖0*R* im parallelen polarisirten Licht betrachtet, in ebensoviel Sectoren, als Umgrenzungselemente vorhanden waren. Die Intensität der Helligkeit wechselte bei dem Drehen des Präparates; die geringste Intensität zeigte jeder Sector dann, wenn seine Randkante einen Winkel von 35° bez. 55° mit den Schwingungsrichtungen der Nicols bildete. Mit dem Gypsblättchen untersucht, zeigten die Platten ein auffallendes Verhalten (vergl. Fig. 107), indem die gegenüberliegenden Sectoren nicht, wie in der Regel, gleich, sondern ver-

1) P. A. 86. p. 35. 1852.

schieden gefärbt waren; aus der Farbenvertheilung konnte man schliessen, dass die Richtung der gleichen Elasticitätsaxen in ihnen nicht parallel sein konnte. Durch die Untersuchung im convergenten Licht wurde dies Verhalten erklärt: die Krystalle waren zweiaxig; die Ebene der optischen Axen wechselte von einem Sector zu dem andern (vergl. Fig. 108); sie war gegen die Randkanten gleich geneigt in den Sectoren 1, 3 und 5 und wieder gleich in den Sectoren 2, 4 und 6; die Richtung der optischen Axenebene war so, dass sie in zwei gegenüberliegenden Sectoren zu einander senkrecht stand. Die erste Mittellinie war die Normale zur Plattenebene, die Axe der kleinsten Elasticität lag, wie aus dem Verhalten im parallelen Licht zu erkennen, senkrecht zur Ebene der optischen Axen, folglich waren die Krystalle positiv.

»Mischkrystalle aus einer Lösung, die neben dem Calciumsalz nur geringe Mengen des Bleisalzes enthielt, zerfielen im parallelen polarisirten Licht ebenfalls in sechs Sectoren, die Auslöschung fand jedoch parallel und senkrecht zur Randkante eines jeden Sectors statt. Die kleinste optische Elasticitätsaxe stand in jedem Sector senkrecht zur Randkante. Im convergenten Licht zeigten die Krystalle das Axenbild zweiaxiger Krystalle, die Ebene der optischen Axen stand in jedem Sector senkrecht zur Randkante (Fig. 105), die Krystalle waren demnach optisch negativ. Ebenso wie diese verhielten sich die Mischkrystalle von unterschwefelsaurem Calcium und Strontium.«

Wir sehen aus diesen Mittheilungen, dass in den anomalen Krystallen die Lage der optischen Axenebene sehr verschieden sein kann, bald normal zu den Randkanten, bald schief hierzu; nur parallel zu den Randkanten hat man sie nicht gefunden. Die Grösse des Axenwinkels ist ebenfalls verschieden, sie bewegt sich zwischen 0° und 25°.

Auf die Arbeit von R. Brauns hat Wyrouboff geantwortet (5). An seiner Annahme, die Krystalle seien pseudohexagonal und aus zweiaxigen Lamellen aufgebaut, hält er fest und seine früher ausgesprochene Vermuthung, dass die dem Aufbau zu Grunde liegende Form der des monoklinen unterschwefelsauren Baryums entspreche, sucht er zu beweisen.

Wyrouboff zeigt, dass die krystallographischen Axen in dem Baryumsalz so gewählt werden können, dass in zwei Zonen je ein Prisma mit einem Winkel von annähernd 120° auftritt. Das eine dieser Prismen ist beobachtet, das andere, welches in der Verticalzone liegen soll, noch nicht. Ein solcher von den beiden Prismen und der Symmetrieebene begrenzter Krystall würde in der Projection auf letztere sich als einen Rhombus darstellen mit einem stumpfen Winkel von 118° 5′ (Fig. 109) und es wäre $m : g^1 = 121° 20'$ und $d^{\frac{1}{2}} : g^1 = 116° 26'$.

Die Ebene der optischen Axen ist ebenso wie die erste + Mittellinie senkrecht zur Symmetrieebene und bildet mit der Kante $m\,g^1$ einen Winkel von annähernd 45°.

Da die Prismenwinkel annähernd 120° gross sind, könnten die Krystalle zu pseudohexagonalen Zwillingen sich vereinigen; sie thun es aber nicht, weil, wie Wyrouboff meint, die Winkel doch zu sehr verschieden sind.

Bei dem Bleisalz und den andern sollen diese Winkel weniger von einander abweichen und deswegen sollen die Lamellen zu pseudohexagonalen Krystallen sich vereinigen können. Wie gross aber diese Winkel sind, erfahren wir nicht und können wir nicht erfahren, weil diese Salze noch nicht, auch von Wyrouboff nicht, in monokliner Krystallform gefunden worden sind. Wunderbarer Weise bilden sie immer »pseudohexagonale« Formen durch Durchkreuzung und innigste Verwachsung dünnster Lamellen.

Aber Wyrouboff erbringt in anderer Weise seinen Beweis:

1) Er liess eine Lösung von 6 Theilen Bleisalz und einem Theil Baryumsalz zwischen -2^0 und $+5^0$ verdunsten und erhielt so monokline Krystalle von dem Aussehen des Baryumsalzes, welche 6% und 14,8% $PbS_2O_6 + 4H_2O$ enthielten. Die optischen Eigenschaften waren denen des Baryumsalzes ähnlich, der Axenwinkel 2^0—4^0 grösser. Hieraus schliesst Wyrouboff, dass das Bleisalz die monokline Form des Baryumsalzes annehmen kann.

2) Weiter liess Wyrouboff eine Lösung von Calcium- und Baryumsalz zwischen -2^0 und $+5^0$ krystallisiren und erhielt dünntafelige Krystalle, welche aus vielen über einander gelagerten hexagonalen Tafeln aufgebaut waren. Zuerst hat sich das weniger lösliche Kalksalz abgeschieden in hexagonalen, homogenen und anscheinend isotropen Lamellen, die aber nicht einaxig, sondern schwach zweiaxig waren. Auf diese hatten sich nach der Mitte hin andere hexagonale Lamellen mit unvollkommener Auslöschung und deutlicherer Zweiaxigkeit abgeschieden und auf diesen im Centrum ebenfalls hexagonale, lebhaft polarisirende Lamellen, welche keinen Axenaustritt zeigten. Diese sollen dem Baryumsalz angehören, während die andern Lamellen Calcium- und Baryumsalz gemischt enthielten. Eine Analyse ist hiervon nicht ausgeführt.

In diesen Ergebnissen erblickt Wyrouboff den Beweis, dass »la forme réelle de l'hyposulfate de plomb est, en effet, la forme clinorhombique de l'hyposulfate de baryte à $4H_2O$«, und ebenso wie das Bleisalz bestehen nach seiner Auffassung das Calcium- und das Strontiumsalz aus monoklinen Lamellen.

Um das Auftreten der Circularpolarisation und ihr bisweiliges Fehlen zu erklären, nimmt er an:

1) Vier Individuen *ACOB, ACDO, BOCA', OA'C'D* (Fig. 110) verwachsen wie in der Figur angegeben. Der Umriss würde sechsseitig sein, in zwei Feldern würden die optischen Axenebenen unter 90^0 sich durchkreuzen; diese würden optisch einaxig und ohne Circularpolarisation, die vier andern optisch zweiaxig sein. Als Zwillingsebene könnte die Querfläche angenommen werden.

2) Drei Individuen wachsen so an einander, wie Figur 111 zeigt. (Die Verwachsung könnte nur so erklärt werden, dass wegen annähernder Gleichheit der Dimensionen in zwei Richtungen diese mit einander vertauscht sind, etwa wie im Ferrocyankalium.) Die optischen Axenebenen würden sich unter 60^0 durchkreuzen und hierdurch würde da, wo die Individuen sich überlagern, Circularpolarisation entstehen.

Beide Arten von Verwachsungen sollen in demselben Krystall vorkommen und das wechselnde optische Verhalten bedingen.

Obwohl Wyrouboff seine Betrachtungen (6. p. 380) mit den Worten schliesst: »La pseudo-symétrie et la forme primitive réelle des hyposulfates de plomb, de calcium et de strontium ne laissent de place à aucun doute. Ces substances sont clinorhombiques et la polarisation rotatoire y est produite accidentellement par une certaine espèce de croisement des couches successives d'accroissement«, so möchte ich mir doch einige Zweifel auszudrücken erlauben.

Trotz der Ausführungen von Wyrouboff halte ich daran fest, dass die optischen Anomalien des unterschwefelsauren Blei, Strontium und Calcium der Ausdruck von inneren Spannungen sind und diese in erster Linie durch isomorphe Beimischung, vielleicht auch durch Wachsthumsstörungen, die sich besonders in dicken Krystallen der reinen Salze äussern, hervorgerufen werden. Die Krystalle sind ihrer Natur nach hexagonal, optisch einaxig und circularpolarisirend.

Dass durch isomorphe Beimischung Spannung und hierdurch optische Anomalie hervorgerufen werden kann, halte ich durch die Untersuchung der regulären Krystalle für bewiesen. Diese Annahme ist die einzige Hypothese, welche wir zur Erklärung des optischen Verhaltens unserer Krystalle nöthig haben. Wie viel mehr Hypothesen muss Wyrouboff aufstellen und wie wenig stimmen diese doch mit den Thatsachen!

Hypothese ist es, wenn Wyrouboff die Grundform des unterschwefelsauren Blei etc. als monoklin annimmt. Denn wenn wirklich das Bleisalz in geringer Menge in die monoklinen Krystalle des Baryumsalzes eintreten kann. so ist damit noch nicht bewiesen, dass das Bleisalz monoklin krystallisirt. Aber auch wenn dieses der Fall wäre, würde man höchstens die Substanz als dimorph betrachten können. Ebensowenig aber wie wir zugeben, dass höher symmetrische Modificationen einer dimorphen Substanz aus Lamellen einer weniger symmetrischen Modification aufgebaut sind, würden wir hier annehmen, dass die Krystalle mit hexagonaler Form aus monoklinen Lamellen beständen. Diese Annahme wäre eine weitere Hypothese.

Hypothese ist es, dass das Baryumsalz in zwei Zonen annähernd die Dimensionen hexagonaler Symmetrie (Winkel von annähernd 120°) hat, denn das eine Prisma ist gar nicht beobachtet.

Hypothese ist es, dass die supponirten Einzelkrystalle der andern Salze in ihren Dimensionen sich noch mehr hexagonaler Symmetrie nähern, denn die Krystalle hat man noch nie gesehen.

Hypothese endlich ist es, dass diese hypothetischen Krystalle so mit einander verwachsen, dass ihre optischen Axenebenen unter 60° sich durchkreuzen. Man müsste alsdann annehmen, dass zwei fast gleichwerthige Richtungen vertauscht werden. Für Ferrocyankalium haben wir dies gethan, weil die Beobachtungen darauf hinwiesen. Hier ist etwas ähnliches niemals beobachtet; nicht Thatsachen, sondern nur das Bestreben, das Zustandekommen der Circularpolarisation aus der Kreuzung zweiaxiger Lamellen herzuleiten, haben zu dieser Annahme geführt.

Und wollte man alle diese Hypothesen bis in ihre Einzelheiten gelten lassen, so könnten sie doch das Verhalten dieser Krystalle nicht erklären.

Zum Beweis hierfür brauchen wir nur die erste der Wyrouboff'schen Figuren (Fig. 106) anzusehen. Längs zweier schmaler Streifen ist der Krystall, wie das Kreuz andeuten soll, einaxig, in den benachbarten Sectoren zweiaxig. Die Einaxigkeit mit Circularpolarisation kommt nach Wyrouboff zu Stande, wenn die optischen Axenebenen unter 60° sich durchkreuzen, die ohne Circularpolarisation, wenn die Durchkreuzung unter 90° stattfindet.

Nun bildet in dem einen an einem einaxigen Streifen anliegenden Sector die Axenebene mit der Randkante einen Winkel von 30°, in dem andern einen Winkel von 60°. In dem dazwischen liegenden Sector hat Wyrouboff die Richtung der Axenebene nicht angegeben, sie müsste, wenn in den einaxigen Streifen die angenommenen Durchkreuzungen zu Stande kommen sollen, parallel zur Randkante sein und zugleich einen Winkel von 30° mit derselben bilden. Wie dies in den Krystallen zur Erscheinung kommt, sagt Wyrouboff nicht.

Zum Schluss mag noch einmal ausdrücklich bemerkt werden, dass auch in den eben sich bildenden Krystallen nicht das geringste Anzeichen für die Richtigkeit oder Wahrscheinlichkeit jener Hypothese gefunden werden kann. Beobachtet man z. B. das Wachsthum des reinen Bleisalzes unter dem Mikroskop, so sieht man, dass alle sechsseitigen, also auf der Basis liegenden Kryställchen von Anfang an entweder ganz einfachbrechend sind oder schwach doppelbrechend und so bleiben, während sie sich allmählich noch vergrössern. Im convergenten Licht geben die ersteren das schwarze Kreuz, welches bei einer vollen Umdrehung ganz unverändert stehen bleibt, die andern geben ebenfalls das Kreuz, welches mehr oder weniger excentrisch liegt, im übrigen aber in allen Lagen regelmässig ist. Bei den ersteren ist die Basis parallel der Oberfläche des Objectträgers, bei den andern etwas schief hiergegen geneigt. Eine Anlagerung von zweiaxigen Lamellen ist bei reinen Salzen niemals zu beobachten.

Für jetzt beharren wir daher bei unserer Annahme, dass die Krystalle optisch einaxig und circularpolarisirend sind und die Anomalien durch isomorphe Beimischung hervorgerufen werden, wohl wissend, dass wir die eigentliche Ursache der Anomalien noch nicht kennen.

Unterschwefelsaures Kali und Rubidium.

Literatur.

G. Wyrouboff. Recherches sur la structure des corps cristallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. Sér. VI. T. VIII. p. 362—366. 1886.

Das unterschwefelsaure Kali, $K_2S_2O_6$, krystallisirt hexagonal, ist immer optisch einaxig und circularpolarisirend.

Nach den Beobachtungen von Wyrouboff bildet es immer, ob schnell oder langsam, ob durch Verdunsten der Lösung oder Abkühlen, ob in der Kälte oder Wärme krystallisirt, vollkommen optisch einaxige Krystalle: »Les anneaux absolument réguliers sont traversés par une croix dont le centre disparaît complètement pourvu que la plaque soit de quelque épaisseur. En lumière parallèle on constate que les cristaux sont homogènes dans toutes leurs parties, et la lame sensible ne découvre rien d'anormal.«

Anomalien, Feldertheilung in Platten parallel der Basis und Zweiaxigkeit treten nach den Beobachtungen von Wyrouboff auf, wenn das Salz mit dem monoklinen unterschwefelsauren Thallium isomorph gemischt ist: bei 30% Beimischung wird der Axenwinkel in Luft 40°—50° gross und die Platte zerfällt in zwölf Felder; nimmt die Menge der Beimischung zu, so werden die Erscheinungen einfacher, die Zahl der Felder vermindert sich und der Axenwinkel wird grösser; mit 80—85% Beimischung bilden sich homogene rhombische Krystalle mit einem Prismawinkel von 120° 38′ und $2E = 113° 50′$. Nimmt die Menge des Thalliumsalzes noch zu, so bilden sich monokline Krystalle von der Form des reinen unterschwefelsauren Thalliums, welche der der beiden andern ähnlich ist. Aus diesen Beobachtungen schliesst Wyrouboff, dass die rhombischen und monoklinen Krystalle im Verhältniss der Dimorphie stehen und die hexagonalen sollen aus gekreuzten Lamellen der rhombischen Modification aufgebaut sein: »La forme du sel potassique pur n'est que pseudo-hexagonale, son caractère uniaxe et sa polarisation rotatoire ne sont que le résultat d'un croisement régulier de lamelles biaxes ..... Il n'y a donc ici qu'un simple cas de dimorphisme:

1) Pour le sel de thallium une forme monoclinique stable et une forme orthorhombique instable qui ne peut se manifester que dans les mélanges avec le sel de potassium;

2) pour les sels de potassium et de rubidium une forme monoclinique instable qui ne peut exister que dans des mélanges où le sel de thallium domine, et une forme orthorhombique limite qui a d'autant plus de tendance à produire, par un croisement ternaire, une forme pseudohexagonale, que le sel potassique ou rubidique s'approche davantage de la pureté.«

Diese Annahmen sind ebenso wenig berechtigt wie die für das unterschwefelsaure Blei, und die dort gegen diese Annahme vorgebrachten Gründe gelten auch hier. Das unterschwefelsaure Kali ist hexagonal, optisch einaxig und circularpolarisirend, und die nur in Mischkrystallen auftretenden Anomalien werden durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen. Dasselbe gilt für das unterschwefelsaure Rubidium.

Chabasit (Phakolith, Herschelit).

Literatur.

1. D. Brewster. Memoirs of the Wernerian natural history society. Vol. III und G. A. 69. (9). p. 1. 1821.

2. —— Phil. Trans. 1830, I. p. 93 und P. A. XIX. p. 536.

3. Johnston. Phil. Mag. IX. p. 166. 1836.

4. D. Brewster. Ebenda, p. 170.

5. A. Des Cloizeaux. Manuel I. p. 399 u. 409. 1862.

6. V. von Lang. Phil. Mag. IV. Ser. Bd. 28. p. 506. 1864.

7. P. Groth und Arzruni. P. A. 158. p. 394. 1876.

8. A. Streng. Über den Chabasit. 16. Bericht der Oberh. Ges. f. Natur- und Heilkunde, p. 74—123. 1877.

9. F. Becke. Über die Zwillingsbildung und die optischen Eigenschaften des Chabasit. T. M. M. II. p. 391—419. 1880.

10. A. von Lasaulx. Über einige ätnaische Mineralien. Z. Kr. V. p. 338—341. 1881.

11. A. Des Cloizeaux. Note sur la fibrolite d'Auvergne et la Haydénite de Baltimore etc. Bull. min. IV. p. 259. 1881.

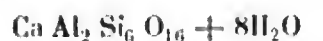
12. E. Mallard. De l'action de la chaleur sur la Heulandite. Bull. min. V. p. 260. 1882.

13. C. Klein. Krystallographisch-optische Untersuchungen, vorgenommen an Rhodizit, Jeremejewit, Analcim, Chabasit und Phakolith. Sitzungsber. d. K. Pr. Akad. d. Wissensch. Berlin, 26. VI. 1890. p. 729—733.

14. F. Rinne. Über die Umänderungen, welche die Zeolithe durch Erwärmen bei und nach dem Trübewerden erfahren. Sitzungsber. d. K. Pr. Akad. d. Wissensch. Berlin, 13. XI. 1890. p. 1192—1199.

Von Chabasit sind optisch anomale Krystalle viel häufiger als normale, man findet kaum einen Krystall, der durch seine ganze Masse hindurch optisch normal sich verhält.

Wir haben schon bei Besprechung der Arbeiten und Ansichten Brewster's mitgetheilt, dass Brewster aus dem Wechsel von positiven und negativen Schichten, welchen er in einem Chabasitkrystall beobachtet hatte, zu der Vermuthung geführt wurde, die Änderung im Charakter der Doppelbrechung werde durch den Zutritt einer geringen Menge eines Stoffes, den die chemische Analyse nicht zu entdecken im Stande sei, herbeigeführt. Heute betrachtet man bekanntlich nach dem Vorgang von A. Streng (8) den Chabasit als isomorphe Mischung der beiden Grundverbindungen:



$$Ca\,Al_2\,Si_6\,O_{16} + 8H_2O$$

und



$$Ca_2\,Al_4\,Si_4\,O_{16} + 8H_2O,$$

die man für sich allein nicht kennt.

Da die Chabasitkrystalle bald optisch positiv bald negativ sind, so muss man schliessen, dass die eine Grundverbindung positiven, die andere negativen optischen Charakter hat. Soweit die vorliegenden Analysen und optischen Untersuchungen einen Schluss gestatten, scheint es, als ob die an Kieselsäure reichsten positiv, die andern negativ sind; es würde also die erste Grund-

verbindung positiv, die andere negativ sein. Durch Mischungen beider können bald optisch positive, bald optisch negative Krystalle entstehen und ausserdem solche, in welchen der Charakter der Doppelbrechung wechselt. Negative Krystalle sind häufiger als positive.

Da die Chabasitkrystalle optisch anomal sind und isomorphe Beimischung enthalten, so schliessen wir, dass durch die isomorphe Beimischung Spannungen und hierdurch optische Anomalien entstehen. Das optische Verhalten des Chabasit haben wir besonders durch A. Streng und F. Becke kennen gelernt.

Schliffe parallel der Basis.

Die Platten haben meist die Gestalt eines gleichseitigen Dreiecks und zerfallen im polarisirten Licht meist in sechs, selten in weniger Felder.

Die Grenzen der Felder gehen den Höhenlinien des Dreiecks parallel, ohne jedoch immer genau mit ihnen zusammen zu fallen. Scharf und geradlinig verlaufen in der Regel die Grenzen von der Mitte nach den Ecken, während die nach den Kanten oft absetzen oder im Zickzack auf und abgehen. Die Auslöschung in zwei benachbarten Feldern erfolgt im allgemeinen symmetrisch zu ihrer Grenzlinie und je zwei über die Mitte gegenüberliegende Felder löschen gleichzeitig aus. Der Werth der Anslöschungsschiefe gegen entsprechende Grenzlinien ist für die Felder desselben Krystalls ziemlich constant, in verschiedenen Krystallen nicht nur von verschiedenem, sondern von demselben Fundort aber sehr schwankend. Nach Becke beträgt die Auslöschungsschiefe in den einer Dreieckskante anliegenden Feldern I : II (Fig. 112, Taf. V): 27,2° im Chabasit von Riebendörfel, 25,2° im Ch. von Farör, 22°—23° im Ch. von Disco, 26° im Phakolith von Aussig, 29° in dem Chabasit aus dem Fassathal; ich habe in Krystallen von Nidda kleinere (23°) und grössere (38°) Werthe gefunden.

Die Auslöschungsunterschiede der an den Ecken liegenden Felder sind oft sehr schwankend, z. B. fand Becke im Chabasit von Riebendörfel II : III = 12,5°, IV : V = 15,9° und VI : I = 8,9°. An Krystallen von Nidda habe ich diese Werthe zwischen 16° und 22° liegend gefunden, A. Streng giebt dieselben Werthe an.

Oft treten in den Feldern kleinere Partien mit abweichender Auslösehungslage auf, namentlich an solchen Stellen, wo der Krystall mit andern verwachsen ist.

Schaltet man das Gypsblättchen vom Roth I. Ordnung ein, so werden die beiden an einer Ecke zusammenstossenden Sectoren blau, wenn ihre Grenzlinie der kleinsten Elasticitätsaxe des Gypsblättchens parallel geht. Da, wie oben angegeben, die Auslöschungsrichtungen in den Sectoren gegen ihre Grenzlinie schief liegen, so fällt auch die kleinste optische Elasticitätsaxe nicht mit dieser Grenzlinie zusammen, sondern ist ebenso schief hiergegen gerichtet.

So weit verhalten sich alle Chabasitkrystalle, von den Schwankungen der Auslöschungsrichtungen abgesehen, gleich, sie unterscheiden sich aber durch die Richtung der optischen Axenebenen in den Sectoren.

F. Becke unterscheidet hiernach zwei Typen: in den Krystallen des einen Typus stossen die Axenebenen in zwei benachbarten Sectoren an der von der Ecke ausgehenden Grenzlinie in einem stumpfen, nach aussen offenen Winkel zusammen (Fig. 112, Taf. V), in den andern in einem spitzen, nach der Mitte offenen Winkel (Figur 113).

F. Becke erklärte diese Verschiedenheit damals durch eine besondere Zwillingsverwachsung der von ihm als triklin angenommenen Chabasit-Individuen. Ich habe dagegen gefunden[1]), dass dies verschiedene Verhalten mit der Verschiedenheit des optischen Charakters der betreffenden Chabasitkrystalle eng zusammenhängt. Die nach dem I. Typus gebauten Krystalle sind nämlich optisch positiv, die andern negativ.

Durch Beobachtung im convergenten Licht an Schliffen parallel der Basis lässt sich die Lage der Axenebenen und der Charakter der Doppelbrechung, weil die Erscheinungen gar zu undeutlich sind, nur schlecht feststellen. Besser und sicherer geht dies durch die Beobachtung im parallelen Licht, wenn man Schliffe parallel der Basis und dem Rhomboëder zur Verfügung hat und die Lage der Elasticitätsaxen in ihnen ermittelt. In einer Gruppe — als deren Vertreter ich die Krystalle von Nidda anführe — fällt in den Schliffen parallel *R* die grösste optische Elasticitätsaxe in die Richtung der kurzen Diagonale, also auch in die Richtung der Hauptaxe. Die optische Axe ist also grösste Elasticitätsaxe, d. h. der optische Charakter negativ. In der andern Gruppe — als Vertreter nenne ich den Chabasit von Oberstein — fällt die kleinste Elasticitätsaxe in die Richtung der kurzen Diagonale der Rhomboëderfläche, diese sind also optisch positiv.

Da nun in Platten parallel der Basis aus Krystallen beider Gruppen — speciell von Nidda und Oberstein — die grösste optische Elasticitätsaxe in den einzelnen Feldern nach der Randkante zu gerichtet ist, müssen die Axenebenen in den positiven Krystallen so liegen wie in Figur 112 angegeben, in den negativen Krystallen aber so wie in Figur 113 angegeben.

Wenn man annimmt, dass die Anomalien, Zweiaxigkeit etc., durch irgend eine Druckwirkung hervorgerufen sind, so würden die Druckkräfte bei allen Chabasitkrystallen in derselben Richtung gewirkt haben; alle Chabasitkrystalle verhalten sich wie von aussen, den gebrochenen Rhomboëderflächen aus, nach innen gepresst; bei den positiven stellt sich die Ebene der optischen Axen in die Druckrichtung, bei den negativen senkrecht dazu.

Die unter den Namen Phakolith und Seebachit bekannten Varietäten des Chabasit und der verwandte Herschelit unterscheiden sich vom Chabasit durch die äussere Form und dementsprechend durch ihre optische Structur.

[1]) Dasselbe hat unabhängig von mir F. Rinne (14) gefunden, dessen Arbeit erst nach Ablieferung meines Manuscriptes erschienen ist.

Der Phakolith (Seebachit) von Richmond in Australien (7) zerfällt in Platten parallel der Basis in sechs Felder, deren Grenzen den Zwillingsgrenzen entsprechen; jedes Feld ist optisch zweiaxig, die Ebene der optischen Axen normal zu der Randkante, dem Durchschnitt von $0R$ und $-2R$. »Dass diese optische Zweiaxigkeit«, fügen Groth und Arzruni ihrer Beschreibung hinzu, »eine Folge der Spannungen parallel den Zwischenaxen ist, wird durch den Umstand bewiesen, dass der Winkel der Axen in den verschiedenen Sextanten nicht gleich gross ist, sondern zwischen 27° und 40° schwankt.«

Der Charakter der ersten Mittellinie ist nach von Lang (6) negativ. von Lang, welcher nach seiner ersten Untersuchung (6) die Krystalle des Herschelit als Zwillingsgebilde rhombischer Individuen erklärt hatte, äusserte sich später G. vom Rath gegenüber (7) dahin, »dass die schwache optische Zweiaxigkeit des australischen Zeoliths durch Druck oder eine Spannung (welche vielleicht gerade mit den nach Sextanten vertheilten Zwillingsstücken zusammenhängt) zu erklären sei«.

Ähnlich wie der Phakolith von Richmond verhält sich nach Arzruni (7) und Becke (9) der Phakolith von Salesl in Böhmen, nach v. Lang (6), F. Becke (9) und A. v. Lasaulx (10) der Herschelit von Aci Castello am Ätna, nach C. Klein (13) der Phakolith von Annerod bei Giessen.

Bisweilen sind die Krystalle in der Mitte einaxig und nur am Rande zweiaxig. Die genaueren Untersuchungen von A. v. Lasaulx (10) haben ergeben, dass in jedem der sechs Sectoren, in welche eine Platte zerfällt, die eine Hälfte eine etwas andere Auslöschungslage hat, wie die andere, die ganze Platte zerfällt daher nicht in 6, sondern in 12 Felder (Figur 114). Die optische Axenebene weicht in jeder Hälfte eines Hauptsectors etwa um 7° von der Normalen zur Randkante ab. In dem Phakolith von Annerod nähert sich die Lage der Axenebene mehr der Grenze von zwei Hauptsectoren; sie weicht von der von der Mitte nach einer Ecke gehenden Grenzlinie etwa 6°—7° nach jeder Seite hin ab (13). Der Charakter der ersten Mittellinie ist auch hier negativ.

In der Art der Feldertheilung tritt uns dieselbe Erscheinung entgegen wie bei Chabasit. Hier wie da sind die Rhomboëderflächen gebrochen, und das von ihnen ausgehende Feld ist nicht einheitlich, sondern in der Mitte noch einmal schwach getheilt. Dieser Zusammenhang zwischen der äusseren Form, der Beschaffenheit der Flächen und der optischen Structur wird uns bei Betrachtung der Rhomboëderschliffe aus Chabasit in derselben Weise entgegentreten.

Schliffe parallel dem Rhomboëder R.

Die Schliffe parallel den Rhomboëderflächen zerfallen bei gekreuzten Nicols meist in zwei Felder, die durch eine scharfe, der kurzen Diagonale parallele Linie getrennt werden und im allgemeinen symmetrisch zu dieser Linie auslöschen; jedoch ist die Auslöschung oft in demselben Schliff sehr schwankend,

in der Mitte anders als in der Nähe des Randes. Wie A. Streng nachgewiesen hat, steht der Verlauf und die Länge der Grenzlinie zwischen den beiden optischen Feldern mit der durch die federförmige Streifung auf *R* hervorgebrachten, eine stumpfe Kante bildenden Naht in engem Zusammenhang, so dass die erstere genau der Lage der letzteren entspricht.

Ebenso wie in den Basisschliffen treten auch in diesen Schliffen Partien mit anderer Auslöschung auf, welche andern Individuen angehören; namentlich zeigen sich da, wo die Ecke eines in Zwillingsstellung befindlichen Krystalls die Rhomboëderfläche durchbricht, Stellen mit unregelmässiger Auslöschung.

Die Schliffe nach der Rhomboëderfläche gestatten den Charakter der Doppelbrechung m t Hülfe eines Gypsblättchens oder dergleichen schnell und sicher zu bestimmen. Bei der einen Gruppe von Chabasitkrystallen fällt die grösste optische Elasticitätsaxe in die Richtung der kurzen Diagonale, bei der andern die kleinste; die ersten sind optisch negativ, die andern positiv. In der Regel ist der Charakter der Doppelbrechung in demselben Krystall constant; nach der oben mitgetheilten Beobachtung von Brewster sollen indess Krystalle vorkommen, in denen der optische Charakter wechselt.

Einen solchen Wechsel von negativer und positiver Doppelbrechung glaubte ich an einem Krystall von Nidda beobachtet zu haben, in welchem der negative Hauptkrystall auf einer Seite mit einer positiven Schicht überzogen schien. Während nämlich bei einer bestimmten Lage nach Einschaltung des Gypsblättchens der Hauptkrystall gelb erschien, war der schmale Streifen blau. Jedoch stellte sich dies bei Untersuchung von andern besseren Präparaten (Fig. 115, Taf. V) als eine Zwillingsverwachsung nach dem Rhomboëder *R* heraus.

An das Hauptindividuum I (Figur 115) ist ein kleineres Individuum II nach *R* zwillingsartig angewachsen; der einspringende Winkel ist deutlich zu sehen; der schmale Streifen IIa ist parallel II und in Zwillingsstellung zu I, und Ia ist parallel I und in Zwillingsstellung zu II. Wenn von den Krystallen das Individuum II abgebrochen und an I nur die schmale Schicht IIa noch vorhanden ist, so kann man allerdings leicht irre geführt werden und glauben, es läge eine Verwachsung von positiven und negativen Schichten vor; ich habe eine solche aber niemals beobachtet.

Um das beschriebene optische Verhalten des Chabasit zu erklären, hatte F. Becke seiner Zeit angenommen, dass jedes Chabasitrhomboëder mindestens aus sechs Individuen bestünde, welche ihren optischen Eigenschaften nach dem triklinen System angehören; der Phakolith und Herschelit seien etwas abweichend gebaut und müssten nach ihrem optischen Verhalten als monoklin angesehen werden. Dieser Ansicht ist auch A. von Lasaulx beigetreten.

Groth und Arzruni und V. von Lang (7) sahen dagegen die Ursache der Anomalien in inneren Spannungen, ebenso A. Streng. Dass in der That innere Spannungen vorliegen, ist kaum einem Zweifel unterworfen. Die Inconstanz der optischen Eigenschaften und die Abhängigkeit der optischen Structur von der Beschaffenheit und Zahl der Begrenzungselemente deuten

darauf hin. Es fragt sich nur, wodurch sind die inneren Spannungen entstanden?

C. Klein (13) ist der Ansicht, dass die Anomalien durch einen Wasserverlust hervorgerufen seien und sieht dies bestätigt durch die Beobachtung, dass die anomalen Erscheinungen deutlicher werden, wenn der Krystall durch Erwärmen Wasserverlust erleidet. Dies hatte schon Mallard (12) beobachtet.

Diese Möglichkeit ist nicht zu bestreiten. Wenn man Chabasitkrystalle in der Natur sammelt, so scheinen sie klarer wie später, nachdem sie einige Zeit in der Sammlung gelegen haben; sie sind dann immer von vielen kleinen Rissen durchsetzt und darum nicht mehr so durchsichtig wie früher. Es ist möglich, dass dies daher kommt, dass die Substanz der Krystalle etwas Wasser verloren hat, es ist aber auch möglich, dass die Risse schon vorher da waren, wegen der inneren Spannung wie die in Mischkrystallen von Blei- und Baryumnitrat entstanden sind, und nur, so lange das Stück feucht war, von Wasser erfüllt waren und darum nicht aufgefallen sind. Optische Anomalien kann man schon in frisch gesammelten Krystallen beobachten; ich habe einen solchen von Nidda nach dem natürlichen Rhomboëder geprüft und gefunden, dass keine vollständige Auslöschung eintrat, wenn ein Hauptschnitt mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfiel.

Ich bin daher der Ansicht, dass hauptsächlich die isomorphe Beimischung die Anomalien des Chabasit hervorruft, halte es aber mit C. Klein für möglich, dass auch Wasserverlust solche Anomalien im Chabasit hat hervorrufen oder die schon vorhandenen Abweichungen hat verstärken können.

Turmalin.

Literatur.

1. Jenzsch. P. A. 108. p. 645—646. 1854.

2. —— Jahrb. d. Königl. Akad. gemeinnütziger Wissensch. zu Erfurt. Neue Folge, II. Heft. Erfurt 1861.

3. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75.

4. A. Des Cloizeaux. Manuel, I. p. 506. 1862. Nouv. rech. p. 20. P. A. 126. p. 411.

5. E. Mallard. Anom. opt. p. 150. 1876.

6. H. Bücking. Über den Einfluss eines messbaren Druckes auf doppeltbrechende Mineralien. Z. Kr. VII. p. 565. 1883.

7. C. Dölter. Erhitzungsversuche an Vesuvian, Apatit, Turmalin. N. Jb. 1884, II. p. 221.

8. H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. II. Aufl. p. 364.

Schliffe von Turmalin senkrecht zur optischen Axe geben im convergenten Licht bisweilen das normale Interferenzbild einaxiger Krystalle, häufiger erweisen sie sich als zweiaxig und in nicht seltenen Fällen ist ihr Bau so gestört, dass überhaupt ein regelmässiges Interferenzbild nicht zu Stande kommt.

Von den von H. Bücking (6) zu seinen Druckversuchen benutzten Turmalinkrystallen gab eine dunkelgrüne Platte in allen ihren Theilen das normale Axenbild einaxiger Krystalle.

Eine Platte von grünem brasilianischen Turmalin liess deutlich zonalen Aufbau erkennen; ein hellgrüner hexagonaler Kern war von einem dunkelgrünen Rande umgeben. Die dem letzteren angehörenden Theile der Platte gaben sehr gestörte Interferenzbilder; dagegen besass der innere Theil normal einaxige Partien und solche, welche einen Axenwinkel (bis zu 5°) erkennen liessen. Eine regelmässige Beziehung in der Lage der Axenebenen zu den Prismenflächen war nicht wahrnehmbar; eine Prismenfläche bildete mit der einen Axenebene einen Winkel von etwa 15°. Die Axenebenen sollen in den verschiedenen Theilen der Platte zu einander normal sein (?).

Ein hellgrüner Turmalinkrystall gab neben normalen ein- und zweiaxigen Interferenzbildern an vielen Stellen sehr gestörte Bilder, ebenso ein rother Turmalin aus Sibirien.

Der von Mallard untersuchte Turmalin verhielt sich ebenso; wegen der vorkommenden zweiaxigen Stellen betrachtet Mallard die Turmalinkrystalle als Drillinge rhombischer Individuen, die hemiëdrisch wären.

In dem senkrecht zur Axe gepressten Turmalin stellt sich die Ebene der optischen Axen senkrecht zur Druckrichtung; dauernde Veränderungen werden durch den Druck nicht hervorgerufen (6). Durch Erhitzen werden die Hyperbeln nur wenig genähert (7).

Für die Angabe von H. Rosenbusch, dass vorwiegend die isomorph geschichteten Krystalle optisch anomal seien, kann ich einen weiteren Beleg beibringen.

Ein Turmalin von Elba ist in der Mitte farblos, am Rande rosaroth; unter dem Mikroskop sieht man, dass die rothe Farbe nicht gleichmässig, sondern unregelmässig fleckig vertheilt ist. Eine Platte parallel der Basis verhält sich, im parallelen Licht untersucht, im Bezirk der farblosen Mitte normal; am Rande erscheint sie graulich und gelblich gefleckt. Im convergenten Licht erweist sich die Mitte als einaxig, der Rand als zweiaxig; der Axenwinkel ist 12°—15° gross, die Ebene der optischen Axen normal zur Randkante des zweiten Prismas; aber nur an zwei schmalen Stellen ist das Bild einigermassen deutlich, an allen andern Stellen erscheinen sehr verschwommene Bilder.

Eine andere Platte aus einem Turmalin von Elba schien roth und war rissig; unter dem Mikroskop sah man, dass die Hauptmasse wieder farblos war; die rothe Farbe war fleckig vertheilt und an die Risse gebunden, so dass jeder Riss eine rothe Stelle durchsetzte; die ganze Platte schien wie von einem rothen Adernetz durchzogen. Im parallelen Licht verhielt sich die farblose Masse normal, rings um jeden Riss und in jedem rothen Fleck aber traten lebhafte Polarisationsfarben auf, wodurch die Platte in jedem Azimuth ganz bunt gefleckt erschien. Im convergenten Licht gaben nur die farblosen Stellen ein normales Axenbild, die rissigen und rothen Stellen aber gaben weder Kreise noch Lemniscaten, sondern ganz unregelmässige, verzerrte Bilder.

Die optischen Anomalien des Turmalin beruhen nach unserer Annahme auf inneren Spannungen, welche durch isomorphe Beimischung erzeugt werden.

Die sehr wechselnde chemische Zusammensetzung des Turmalin lässt sich nur erklären, wenn man eine isomorphe Mischung verschiedener Grundverbindungen annimmt.

Die Krystalle sind oft in ihrer ganzen Masse gleich gefärbt, oft auch wechselt die Farbe von Schicht zu Schicht oder unregelmässig von Fleck zu Fleck.

Die optischen Anomalien sind ebenfalls entweder in der ganzen Ausdehnung des Krystalls ziemlich gleichartig, oder sie treten mehr local auf in einzelnen Schichten oder an den Stellen, wo verschiedenfarbige Theile unregelmässig mit einander abwechseln.

Apatit.

Literatur.

1. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75.
2. J. Hirschwald. T. M. M. 1875, p. 239.
3. E. Mallard. Anom. opt. p. 147. 1876.
4. H. Bücking. Über den Einfluss eines messbaren Druckes auf doppeltbrechende Mineralien. Z. Kr. VII. p. 561. 1883.
5. C. Dölter. Erhitzungsversuche an Vesuvian, Apatit, Turmalin. N. Jb. 1884, II. p. 220.
6. H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. II. Aufl. p. 355.

Von Apatit sind besonders die gefärbten Krystalle optisch anomal, während die farblosen und licht grünen und gelben, ebenso wie die eingewachsenen (6) Krystalle in der Regel normal sich verhalten.

Eine Platte parallel der Basis aus einem violetten Krystall von Schlaggenwald zerfällt nach Mallard im parallelen Licht in ebensoviel Felder als Randkanten vorhanden sind; von jeder Prismenfläche geht ein Feld in das Innere, ohne gegen die benachbarten scharf abgegrenzt zu sein; die Felder durchdringen sich vielmehr unregelmässig, so dass Theile des einen in den benachbarten auftreten. Im convergenten Licht erweist sich jedes Feld als zweiaxig, die Ebenen der optischen Axen sind schief zu den Randkanten und so orientirt, dass sie in zwei benachbarten Feldern einen Winkel von 60° mit einander bilden (vergl. die schematische Figur 116 nach Mallard).

Die von C. Dölter (5) zu seinen Versuchen benutzten violetten Apatitkrystalle von Schlaggenwald waren schalenförmig gebaut. Der Kern war normal einaxig, »nur der äussere, aus Schalen aufgebaute Theil verhält sich wie ein zweiaxiges Mineral; hier wird im convergenten Lichte ein ziemlich bedeutender Axenwinkel sichtbar und zerfällt dieser Theil in drei Sectoren«. Der Axenwinkel in Luft betrug $30\frac{1}{2}°$. Einen ähnlichen schalenförmigen Bau zeigte ein von Mallard untersuchter Apatitkrystall, der wahrscheinlich von Estremadura stammte.

Ein ebenfalls von Dölter untersuchter Apatitkrystall von Ehrenfriedersdorf war in dem schalenförmig gebauten Theil wieder zweiaxig mit einem Axenwinkel von $20\frac{1}{2}°$.

Farblose Krystalle von der Knappenwand und andern Orten Tyrols gaben ein kaum merkbar deformirtes Interferenzbild; die Kreise waren zu kreisähnlichen Ellipsen verzogen und das schwarze Kreuz öffnete sich ein wenig; im parallelen Licht war eine Abweichung vom normalen Verhalten nicht zu bemerken.

Werden Platten senkrecht zur Hauptaxe gepresst, so werden sie zweiaxig, die Ebene der optischen Axen stellt sich senkrecht zur Druckrichtung. »Wird der Druck sehr rasch aufgehoben, so macht man die Erfahrung, dass im ersten Augenblicke Erscheinungen eintreten, als wenn man die Platte in der Richtung des aufgehobenen Druckes gespannt, oder in einer senkrechten Richtung comprimirt habe; erst allmählich tritt ein bleibender Zustand wieder ein« (4). Andere Platten waren durch starken Druck dauernd zweiaxig geworden und zeigten einen Axenwinkel von 5° in der Richtung des Drucks. Obwohl also in den gepressten Platten die Ebene der optischen Axen senkrecht zur Druckrichtung sich stellt, stellt sie sich nach Aufhören des Drucks in die Druckrichtung.

Bei dem Erwärmen bis zur lichten Rothgluth wird der Axenwinkel kleiner, oft gleich Null; nach dem Erkalten verhalten sich die Krystalle wie vorher.

Diadelphit (Aimatolith).

Literatur.

1. E. Bertrand. Forme cristalline de l'aimafibrite et de l'aimatolite. Bull. min. VII. p. 124. 1884.

2. Hj. Sjögren. Über die Manganarseniate von Nordmarken in Wermland. Z. Kr. X. p. 130—143. 1885.

Der Diadelphit, von Igelström zuerst Aimatolith genannt, krystallisirt hexagonal-rhomboëdrisch; die bis 2 mm grossen Krystalle sind begrenzt von dem Grundrhomboëder und der Basis.

Wegen der sogleich zu beschreibenden geringen Zweiaxigkeit hatte E. Bertrand (1) die Krystalle für pseudohexagonal erklärt und angenommen, die Rhomboëder seien aus monoklinen Subindividuen zusammengesetzt. Hj. Sjögren dagegen vertritt die Ansicht, dass der Diadelphit hexagonal und optisch anomal sei. Diese Ansicht ist offenbar richtig.

Das Axenverhältniss ist nach Sjögren

$$a : c = 1 : 0,8885.$$

Parallel der Basis geht ein sehr guter Blätterbruch. Die Rhomboëderflächen sind horizontal, parallel der Combinationskante $R : 0R$ gestreift.

Die optische Untersuchung hat **Sjögren** an Spaltblättchen parallel der Basis vorgenommen:

»Betrachtet man eine solche natürliche Spaltplatte unter dem Mikroskop im gewöhnlichen Lichte, so hat dieselbe eine braunrothe Farbe, dunkler oder heller, je nach der Dicke der Platte. Häufiger ist der Farbenton nicht gleich stark über die ganze Platte verbreitet, sondern etliche Theile erscheinen heller als die andern, was mitunter Anlass zu einer mehr oder weniger deutlichen Zonenstructur giebt. Die Eintheilung der Platte in verschiedene Felder, die eigentlich erst in ihrer vollen Deutlichkeit bei Anwendung von polarisirtem Lichte hervortritt, kann wegen der soeben erwähnten Verschiedenheit der Farbenstärke auch bisweilen im gewöhnlichen Lichte verfolgt werden.

»Im parallelen polarisirten Lichte betrachtet, zeigt sich eine oft sehr deutliche Eintheilung der Platte in mehrere Felder, gewöhnlich drei oder vier. Die Richtung der Grenzen zwischen diesen Feldern wird durch Linien aus dem Mittelpunkte der Platte heraus bis zu deren drei Ecken bestimmt; doch zuweilen fallen die Grenzen nicht mit diesen Linien zusammen, sondern sie sind parallel mit ihnen verschoben. Bisweilen sind die Grenzen geradlinig, häufiger haben sie einen schwach bogenförmigen Lauf. Falls die Anzahl der Felder vier ist, erscheint eins central von der Form eines gleichseitigen Dreiecks (Fig. 117, Taf. V), um welches herum die drei übrigen gruppirt liegen. Bei Untersuchung mit gekreuzten Nicols löschen die auf diese Weise begrenzten Felder nicht gleichzeitig aus, sondern, wenn eins verdunkelt erscheint, erweisen sich die andern um so heller. Wenn man jedes Feld für sich allein untersucht, so ergiebt sich, im Gegensatze zu dem, was man erwarten könnte, falls mimetische Zwillingsbildung vorläge, dass das Feld sich nicht gleichzeitig an allen seinen Punkten verdunkelt, welches beweist, dass die Auslöschungsrichtungen innerhalb jedes Theiles eines Feldes nicht gleich orientirt sind. Die neben einander liegenden Felder scheiden sich dadurch von einander, dass vollständigere Auslöschung, also grössere Dunkelheit an den Grenzen der Felder gegen einander stattfindet, als an den Kanten der Platte. Von der Mitte der Platte gehen deshalb dunklere Partien aus als Radien nach den Ecken der Platte, während nach den Kanten zu lichtere Gebiete liegen, welche langsam in die inneren dunkleren übergehen und mitunter unregelmässig begrenzte flammengleiche Partien in diese hineinsenden. Diese Umstände erscheinen kaum deutlicher bei Anwendung einer Gypsplatte als ohne eine solche, wie die kräftig braunrothe Absorptionsfarbe der Platte selbst die durch die Gypsplatte hervorgerufenen Polarisationsfarben nicht zur Geltung kommen lässt.

»Im convergenten Lichte ...... nimmt man an den meisten Stellen der Platte den Austritt zweier optischer Axen wahr, welche im Allgemeinen einander sehr nahe liegen. Das Axenbild liegt gewöhnlich etwas excentrisch im Gesichtsfelde und zeigt eine zwar immer nur geringe Neigung der ersten Bisectrix gegen die Spaltebene. Diese Bisectrix ist stets negativ.

»Bestimmt man die Lage der Ebene der optischen Axen im convergenten Lichte oder untersucht die Schwingungsrichtungen innerhalb eines Feldes stauroskopisch, so wird man finden, dass die Axenebene im Allgemeinen nicht parallel liegt mit einer der Plattenkanten, sondern mehr oder weniger davon abweicht. Auch geht bei einer solchen Untersuchung das ganz eigenthümliche Verhältniss hervor, dass die Schwingungsrichtungen nicht gleichmässig orientirt sind an ungleichen Punkten in demselben Felde, sondern vielmehr ganz bedeutend von einander abweichen. Die Neigung der ersten Bisectrix ist auch nicht constant, was daraus ersichtlich ist, dass das Axenbild mehr oder weniger excentrisch liegt und dass die Excentricität manchmal nach der einen, dann wieder nach der andern Richtung liegt, wenn auch die Platte in derselben Lage bleibt. Selbst der optische Axenwinkel variirt an Grösse und ist bisweilen beinahe gleich Null.«

Nach etwas eingehender Beschreibung von drei Platten, welche sich so verhalten, wie hier angegeben, fährt Sjögren fort:

»Aus der Beschreibung der optischen Eigenschaften dieser drei Platten, die hiermit gegeben worden, möchte deutlich hervorgehen, dass dieselben nicht denjenigen entsprechen, welchen man bei mimetischen Krystallen begegnet. Dagegen zeigen sie unzweideutige Analogien mit den anomalen optischen Eigenschaften, die man von gewissen regulären Mineralen und amorphen Substanzen kennt. Speciell erinnert das Verhältniss beim Diadelphit in hohem Grade an die optischen Eigenschaften des Granat, welche von C. Klein so eingehend beschrieben worden sind, dass sogar gewisse Figuren Klein's sehr wohl das Verhältniss des Diadelphit illustriren könnten.«

Zum Schluss fasst Sjögren die Resultate der optischen Untersuchung und die daraus gezogenen Schlüsse wie folgt zusammen:

»1) Im polarisirten Lichte zwischen gekreuzten Nicols zeigen mit der Basis parallele Platten sich in mehrere optisch wirksame Felder mit ungleicher Orientirung eingetheilt.

2) Die Ebene der optischen Axen variirt in ihrer Lage innerhalb ein und desselben Feldes.

3) Der Winkel zwischen der optischen Axenebene und der Kante der Platte variirt im Allgemeinen so, dass er nach der Mitte der Kanten zu kleiner ist als näher an den Ecken, wo die Axenebene gemeiniglich nach der Ecke zu gerichtet ist.

4) Der Axenwinkel ist auch variabel und fast völlige Einaxigkeit kommt bisweilen im Innern der Krystalle vor.

5) Die erste Bisectrix, d. h. die Axe der grössten Elasticität, weicht im Allgemeinen etwas, obgleich nur unbedeutend, von der Normale gegen die Spaltebene ab. Manchmal fällt sie jedoch mit dieser zusammen.

6) Zonenstructur ist mitunter deutlich wahrgenommen worden.

7) Zufolge der Inconstanz, welche die optischen Eigenschaften aufweisen, kann es nicht berechtigt sein, auf diese die Bestimmung des Krystallsystems zu begründen, sondern man muss diese Inconstanz eher als mit den Anomalien

vergleichbar ansehen, welche gewisse reguläre Krystalle zeigen und welche wahrscheinlich durch die Einwirkung störender Kräfte während des Bildungsprocesses der Krystalle hervorgerufen sind.

8) C. Klein hat veranschaulicht, wie beim Granat die optischen Anomalien im engsten Zusammenhange mit der äusseren Form des Krystalls stehen. Es ist anzunehmen, dass solches auch der Fall beim Diadelphit ist, obgleich es nicht hat bewiesen werden können, weil die Krystalle nicht in ihrer Form variiren. Ebenso ist es augenscheinlich, dass die fraglichen Anomalien in irgend einem Zusammenhange mit der Streifung auf den Krystallflächen stehen, wie sie beim Diadelphit erscheint, so wie es bewiesen wurde, dass das Verhältniss beim Granat ist.«

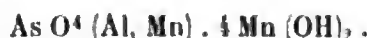
Der Vergleich mit Granat ist auch insofern passend, als, nach unserer Ansicht, die Ursache der Anomalien dieselbe ist und in dem Vorhandensein einer isomorphen Beimischung liegt.

Der Diadelphit ist ein normales Arseniat von Thonerde, Mangan- und Eisenoxyd zusammen mit 8 Molekülen Pyrochroit. Nach den von Sjögren mitgetheilten Analysen entspricht der Zusammensetzung die Formel:



$$(Al, Mn, Fe)_2 O_3 . As_2 O_5 + 8 Mn (OH)_2$$

oder nach der Schreibweise von P. Groth (Tabell. Übersicht p. 78):



$$As O^4 (Al, Mn) . 4 Mn (OH)_2 .$$

Das Mineral enthält bis nahe 8% $Al_2 O_3$ und etwas mehr als 1% $Fe_2 O_3$; es ist eine isomorphe Mischung, in der $Mn_2 O_3$, $Al_2 O_3$ und $Fe_2 O_3$ sich vertreten und durch die isomorphe Beimischung sind die Krystalle optisch anomal.

Jeremejewit (und Eichwaldit).

Literatur.

1. M. Websky. Über Jeremejewit und Eichwaldit vom Berge Soktuj in Daurien. Sitzungsber. der Königl. Preuss. Akad. d. Wissensch. Berlin. XXVIII. Sitzg. der math.-phys. Classe v. 14. VI. 1883. p. 671—684.

2. N. von Kokscharow. Materialien zur Mineralogie Russlands. X. p. 241—260.

3. C. Klein. Krystallographisch-optische Untersuchungen, vorgenommen an Rhodizit, Jeremejewit etc. Sitzungsber. der Königl. Preuss. Akad. d. Wissensch. Berlin. XXXII. Sitzg. v. 26. VI. 1890. p. 719—726.

Indem ich den Jeremejewit und Eichwaldit zu den durch isomorphe Beimischung anomalen Krystallen rechne, befinde ich mich in Widerspruch mit denjenigen Forschern, welche dies seltene Mineral untersucht haben. Die Gründe, welche mich zu dieser abweichenden Auffassung führen, liegen in der chemischen Zusammensetzung und der Krystallform des Minerals; das optische Verhalten steht mit dem, welches durch isomorphe Beimischung anomale Krystalle zeigen, nicht in Widerspruch.

Die chemische Zusammensetzung des Jeremejewit und dessen Verhalten gegen Reagentien ist von A. Damour[1] ermittelt worden. Die Untersuchung erstreckt sich auf die ganzen damals Jeremejewit genannten Krystalle, der Unterschied zwischen Jeremejewit und Eichwaldit ist erst von Websky gemacht worden, welcher nur die einaxigen Partien der Krystalle Jeremejewit, die zweiaxigen aber Eichwaldit genannt hat. Die Angaben von Damour beziehen sich also auf die ganze Krystallmasse, und würden, wenn diese von Schicht zu Schicht wechselnde Zusammensetzung haben sollte, was noch nicht ermittelt ist, Mittelwerthe sein.

Nach der von Damour ausgeführten Analyse besteht das Mineral aus:



$$55{,}03\%\ Al_2O_3,\ 4{,}08\%\ Fe_2O_3,\ 0{,}70\ K_2O,\ 40{,}19\%\ B_2O_3,$$

worin B_2O_3 aus dem Verlust durch Glühen bestimmt ist. Hierin ist $Al_2O_3 + Fe_2O_3 : B_2O_3 = 1:1$, was der Formel



$$(Al_2O_3, F_2O_3).\ B_2O_3$$

entspricht. Damour betrachtet hiernach den Jeremejewit als ein Aluminiumborat.

Über die Eigenschaften giebt Damour folgendes an: Vor dem Löthrohr wird das Mineral trüb und ertheilt der Flamme die grüne Borfärbung; mit Kobaltsolution wird es schön blau. Fein gepulvert wird es von heisser concentrirter Kalilauge aufgelöst, nur wenig Eisenoxyd bleibt zurück. Säuren greifen die ungeglühte Substanz nicht an, aber längere Zeit zur Rothgluth erhitzt wird sie bei 300° von Schwefelsäure langsam zersetzt; Zusatz von Flusssäure beschleunigt die Lösung.

Auch P. Groth[2] betrachtet das Mineral als ein Borat und schreibt die Formel $BO^2(AlO)$; Websky und C. Klein schliessen sich Damour und Groth an, jedoch sagt schon C. Klein an einer Stelle (3. p. 724 Anmerkung), dass die Zweiaxigkeit eine durch isomorphe Beimischung hervorgerufene Anomalie sein könne, wenn es sich herausstellen sollte, dass das Mineral in seinen optisch verschiedenen Schichten aus wechselnden Mengen von Al_2O_3 und B_2O_3 aufgebaut ist. Eine chemische Untersuchung der optisch verschiedenen Schichten ist bis jetzt nicht durchgeführt, und die Annahme, dass eine isomorphe Mischung von Al_2O_3, Fe_2O_3 und B_2O_3 vorliege und die Zweiaxigkeit durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen werde, daher sehr hypothetisch, es sprechen aber verschiedene Gründe dafür.

Gegen die Annahme, dass Jeremejewit ein Borat ist, spricht sein Verhalten gegen die Reagentien. Von Säuren wird er im ungeglühten Zustand überhaupt nicht angegriffen, alle andern Borate werden durch Säuren zersetzt,

---

[1] Note sur un borate d'alumine cristallisé de la Sibérie. Nouvelle espèce minéral. Bull. min. VI. p. 20. 1883.

[2] Tabell. Übersicht. III. Aufl. p. 68.

die meisten sogar sehr leicht. Dass nun gar ein Aluminiumborat so ausserordentlich widerstandsfähig sein sollte, ist wegen der nahen Verwandtschaft von Bor und Aluminium höchst unwahrscheinlich. Die Verbindung B_2O_3 ist allerdings wesentlich säurebildender Natur, sie nähert sich aber sehr den unbestimmten Metalloxyden wie Al_2O_3. Eine Verbindung von beiden kann ich mir nur als unbeständig vorstellen. Von einer isomorphen Mischung von Al_2O_3 und B_2O_3 würde man schon eher Widerstandsfähigkeit gegen Säuren erwarten, wenn sie auch nicht so gross wäre, wie die der reinen Thonerde, des Korunds.

Wenn wir somit nur die chemischen Eigenschaften des Jeremejewit ohne Rücksicht auf die andern betrachten, so erscheint die Annahme, dass eine isomorphe Mischung von Al_2O_3, Fe_2O_3 und B_2O_3 vorliege wahrscheinlicher als die, dass er ein Aluminiumborat sei.

Diese Wahrscheinlichkeit wird erhöht durch die krystallographischen Beziehungen, welche zwischen Jeremejewit und Korund bestehen.

Nach Websky ist das Axenverhältniss des Jeremejewit:

$$a : c = 1 : 0{,}683581;$$

verdoppelt man die Länge der Verticalaxe, so bekommt man:

Jeremejewit $a : c = 1 : 1{,}367162$,

es ist aber für

Korund $a : c = 1 : 1{,}364$

und für

Eisenglanz $a : c = 1 : 1{,}359$.

Das Axenverhältniss des Jeremejewit ist also von dem des Korund noch etwas weniger verschieden, wie das des Korund von dem des mit ihm isomorphen Eisenglanzes. Diese Formenübereinstimmung scheint mir aber die Isomorphie des Jeremejewit mit Korund und Eisenglanz geradezu zu beweisen, und wir betrachten ihn daher als isomorphe Mischung von B_2O_3, Al_2O_3 und Fe_2O_3.

Wenn wir nun den Jeremejewit als eine isomorphe Mischung auffassen und wissen, dass durch isomorphe Beimischung optische Anomalien — in hexagonalen Krystallen Zweiaxigkeit — hervorgerufen werden können, erscheint uns auch das optische Verhalten in einem andern Licht.

In den »Verhandlungen der Russisch-Kaiserlichen Mineralogischen Gesellschaft zu St. Petersburg«, zweite Serie 1870, Bd. V. p. 415 findet man in dem Protokolle der Sitzung vom 25. Februar 1869 folgendes:

»Das wirkliche Mitglied der Gesellschaft P. W. v. Jeremejew hat einige Beryll-Krystalle aus Nertschinsk dargestellt. Er hat auch einige geschliffene Platten gezeigt, deren Inneres die Erscheinungen eines zweiaxigen Minerals darbieten, während der äussere Rand derselben einaxig blieb« (vergl. 2. p. 244).

Diese »Beryllkrystalle« wurden später von Damour analysirt und wie oben angegeben zusammengesetzt gefunden; er nannte das neue Mineral Jeremejewit.

Später hat M. Websky (1) das Mineral einer erneuten optischen und äusserst sorgfältigen krystallographischen Untersuchung unterworfen und hierdurch festzustellen versucht, »ob auch die äusseren morphologischen Erscheinungen Motive dafür bieten, dass in diesen merkwürdigen Krystallgebilden zwei morphologisch verschiedene Körper orientirt verwachsen sind, und hat ... diese Vermuthung trotz der Schwierigkeiten, welche die unvollkommene Oberflächen-Ausbildung hervorrief, bestätigt (gefunden). Die Krystalle bilden sechsseitige Prismen mit pyramidal gestalteter oder flach gewölbter Endigung; die Prismenflächen und die pyramidal gestalteten Endigungen entsprechen der pyramidal-hemiëdrischen Abtheilung des hexagonalen Krystallisations-Systemes; an den gewölbten Endigungen erscheinen neben den zum erstgenannten System gehörenden Reflexen anderweitige, welche im Anschluss an die optischen Erscheinungen auf einen rhombischen Drilling zurückgeführt werden können.«

Für die einaxigen Partien behielt Websky den Namen Jeremejewit bei, die zweiaxigen nannte er Eichwaldit; diese bilden den Kern, jene den Mantel der Krystalle.

Der von dem einaxigen Mantel eingeschlossene zweiaxige Kern zerfällt nach Websky im parallelen polarisirten Lichte in sechs Segmente, deren Grenzen senkrecht auf den Säulenflächen stehen. Jedes Segment zeigt im convergenten polarisirten Licht ein vollkommenes, in allen Segmenten gleichartiges optisch zweiaxiges Interferenzbild negativen Charakters. Die Ebene der optischen Axen macht mit jeder der beiden Seiten in einer Ecke der Platte den Winkel von 30°, die Bisectrix ist senkrecht auf der Platte, der Winkel der optischen Axen in Luft 52°. Zwischen Kern und Mantel befindet sich ein fast opaker Ring.

Diese Angaben von Websky sind, wie wir gleich sehen werden, von C. Klein sehr wesentlich ergänzt worden; ehe wir uns aber hierzu wenden, müssen wir kurz anführen, was Websky über die Formenausbildung der Krystalle sagt.

Die Krystalle sind von einem sechsseitigen Prisma begrenzt, dessen Flächen durch vicinale Gliederung nicht ganz einheitlich, aber doch so gut sind, dass die Zugehörigkeit zum hexagonalen System mit genügender Sicherheit festgestellt werden konnte. Das Prisma wird als $\infty P2$ $(11\bar{2}0)$ angenommen. Die Endbegrenzung ist sehr mangelhaft; sie stellt »eine flache, fast ganz mit kleinen Zapfen bedeckte Wölbung dar«.

Der grössere Theil dieser kleinen Flächen am Ende wird auf den Jeremejewit bezogen; um aber die Vertheilung und Unvollzähligkeit der Flächen zu erklären, muss man annehmen, dass der Jeremejewit pyramidal-hemiëdrisch ist und dass eine Zwillingsbildung nach dem Gesetz: Zwillingsaxe senkrecht auf einer Fläche des Prisma $\infty P2$, verbunden mit hemimorpher Ausbildung vorliegt. Sollte die mangelhafte Ausbildung der Endbegrenzung nicht eher zu dem Schluss berechtigen, dass die Flächen regellos unvollzählig ausgebildet sind, als zur Annahme solch seltener Verwachsungen?

»In der Mitte der gewölbten Endigung tritt die Krystalloberfläche des Eichwaldit zwischen mehr vereinzelt stehenden flachen Zapfen des Jeremejewit in grösserer Ausdehnung hervor und culminirt in einer dreikantigen Ecke, deren Kanten jedoch sehr bald dichotomiren, so dass eine sechsflächige Gliederung entsteht mit einer Kantenrichtung senkrecht auf die Säulenflächen, vollkommen analog den Grenzen der im polarisirten Licht erkennbaren Krystall-Individuen ..... Um dies und die eigenthümliche dreieckige Facettirung der Flächen zu erkennen, ist eine fünfzigfache lineare Vergrösserung und eine schiefe Beleuchtung von oben nothwendig; die Reflexe dieser Gegend erreichten daher erst unter Anwendung eines verkleinernden Beobachtungs-Apparates eine einstellbare Präcision, und war dies auch nur in einer einzigen Richtung zu erzielen.«

Diese kleinen Flächen finden durch Websky ihre Deutung unter Zugrundelegung der optischen Erscheinungen. Da diese auf einen rhombischen Zwilling hinzuweisen scheinen, so nimmt Websky einen Zwillingskrystall des rhombischen Systems an, dessen Individuen einen Prismenwinkel von nahe 120° haben; die Zwillingsaxe würde senkrecht auf einer Prismenfläche sein und die Individuen wären nach einem Prisma $\infty\breve{P}3$ (130) an einander gereiht.

Wenn man nun von dem optischen Verhalten absieht, da dies doch etwas anders ist, als Websky beschreibt — z. B. befindet sich noch in der Mitte ein einaxiger Kern — und die Krystalle nur nach ihrer Formenausbildung betrachtet, so wird man es gewiss nicht als bewiesen hinstellen können, dass der Kern rhombisch sei. Denn die Reflexe, welche von den Flächen des Eichwaldit herrühren sollen, bilden mit denen vom Jeremejewit eine Reflexreihe: »In dieser Reflexreihe unterscheidet man zunächst drei Gruppen buntfarbiger, auch seitlich der Zone cumulirter Reflexmassen, deren ziemlich scharf präcisirten Grenzpositionen ich mit zu, vw und $w'v'$ bezeichnen will; zwischen ihnen liegen fünf normale, wenn auch etwas dilatirte Reflexe p, y, x, x', y'; ..... Die Vergleichung mit den Reflexen anderer Stellen ergiebt, dass die Reflexmassen zu, vw und $w'v'$ von den Zapfen des Jeremejewit herrühren, so dass also die Reflexe p, y, x, x', y' auf Eichwaldit zu beziehen sind.«

Ebensolche Reflexerscheinungen würde man bekommen, wenn der ganze Krystall hexagonal und an seinen Enden mit hypoparallelen Anwachsungen versehen wäre; um zu entscheiden, ob dieses der Fall ist, oder ob wirklich in der hexagonalen Hülle ein rhombischer Kern steckt, sind die Reflexe nicht genügend gesondert; man fragt sich vergebens, warum der eine Reflex auf Jeremejewit, der andere auf Eichwaldit bezogen ist.

Vergleicht man z. B. die Abstände, um welche die Grenzen der cumulirten Reflexmassen von der Position der Basis entfernt sind (unter I), mit den Normalenbögen der aus den Elementen für Jeremejewit berechneten Dihexaëder (unter II)

I.		II.
$c \mid v = 11^\circ 40'$	mit	$c \mid \frac{1}{4}P = 11^\circ 10'$
$c \mid w = 15^\circ 42'$		$c \mid \frac{1}{3}P = 14^\circ 44'$
$c \mid u = 40^\circ\ 2'$		$c \mid P = 38^\circ 17'$
$c \mid z = 44^\circ 57'$		$c \mid \frac{7}{5}P = 47^\circ 51'$

so sieht man, dass die Differenzen zwischen den gefundenen und berechneten Werthen doch recht erheblich sind.

Die auf Eichwaldit bezogenen Reflexe würden von der Position der Basis folgende Entfernung (im Mittel) haben:

$$c \mid x = 13^\circ 49'\ 9''$$
$$c \mid y = 17^\circ 36' 26''$$
$$c \mid p = 43^\circ 58' 16''.$$

Diese Werthe ordnen sich also zwischen die ersteren ein; warum soll nun z. B. der Werth $c : z = 44^\circ 57'$ auf Jeremejewit, der $c : p = 43^\circ 58' 16''$ aber auf Eichwaldit bezogen werden? Ich kann dies nicht verstehen, mir scheint alles darauf hinzudeuten, dass hypoparallele Verwachsungen vorliegen.

Websky aber äussert diese Ansicht nicht, er hält den Kern für rhombisch, den Mantel für hexagonal; die Verbindung, welche er mit Damour als normale borsaure Thonerde = $B_2\,Al_2\,O_6$ ansieht, muss also dimorph sein, und beide dimorphe Modificationen wären orientirt mit einander verwachsen. P. Groth meint, beide wären nur in dem Sinne dimorph, als Jeremejewit aus sehr dünnen Lamellen von Eichwaldit aufgebaut wäre.

In der neuesten Zeit hat C. Klein den Jeremejewit aufs neue optisch untersucht und manches anders gefunden als Websky.

Ein Schliff parallel der Basis zeigt das in Figur 118 auf Tafel V dargestellte Verhalten.

Der äusserste Mantel (*A*) wird von einer optisch einaxigen Zone gebildet; der optische Charakter ist negativ. Hierauf folgt eine schmale zweiaxige Zone (*B*); in jedem der sechs Felder ist die Axenebene senkrecht zur Randkante, der Axenwinkel nimmt von aussen nach innen allmählich zu und schwankt zwischen 0 und 35° in Luft. Die erste Mittellinie ist senkrecht zur Schlifffläche und negativen Charakters.

Nun folgt nach innen eine breite zweiaxige Zone (*C*), die wieder in sechs Felder zerfällt; in jedem ist die Axenebene normal zur Halbirungslinie des Sechseckswinkels. Der Axenwinkel ist hier grösser als in den Theilen *B* und innerhalb eines Feldes manchmal constant, manchmal etwas schwankend; er beträgt im Mittel etwa 52° in Luft, wie es auch Websky gefunden hatte. Die Mittellinie des spitzen Axenwinkels steht senkrecht auf der Schlifffläche und ist ebenfalls negativen Charakters.

Der innerste Kern (*D*) des ganzen Krystalls ist wie die äusserste Zone einaxig, negativ.

Durch Untersuchung mit dem Gypsblättchen findet man, dass in den Feldern *B* die kleinste Elasticitätsaxe normal zur Randkante, in den Feldern *C* aber normal zur Halbirungslinie des Sechseckswinkels ist, wie aus der Fig. 119[1]) zu ersehen ist. In den Feldern *A* finden sich manchmal Einlagerungen von der Beschaffenheit der Theile *B*; die Felder *A* gehen öfters scharf, vielfach auch mit verschwommenen Grenzen in die Theile *B* über, *B* dagegen setzt an *C* immer scharf ab; jedoch finden sich an der Grenze von *B* und *C* sehr lebhaft wirkende Spannungsbezirke.

Bei hoher Temperatur, selbst in Rothgluth bleibt das optische Verhalten unverändert, dagegen werden durch einen senkrecht gegen die Axe *c* gerichteten Druck die optischen Eigenschaften leicht geändert; die einaxigen Theile werden zweiaxig mit zur Druckrichtung senkrechter Axenebene und in den zweiaxigen wird der Axenwinkel je nach der Richtung des Drucks zur Axenebene grösser oder kleiner.

Einen Unterschied im specifischen Gewicht zwischen den optisch einaxigen und zweiaxigen Theilen hat C. Klein nicht gefunden.

C. Klein meint nun nicht, dass wir nur eine Gleichgewichtslage, die hexagonale, vor uns haben, und dass die Zweiaxigkeit durch Spannung entstanden sei; dem sollen »die scharfen Grenzen von *C* zu *B*, die nicht selten ebenso scharfen Grenzen der meist einheitlichen Felder *C*, sodann auch der durch Websky klargestellte geometrische Befund« widersprechen.

»Meine Meinung ist vielmehr mit Websky die, es habe sich zuerst der rhombische Kern *C* gebildet, nicht ohne im Innern Hohlräume offen zu lassen. In einer späteren Periode, als die Umstände bei der Krystallisation (Druck, Temperatur u. s. w.) sich geändert hatten, sei der hexagonale Mantel *A*, *B* entstanden. Die Anlagerung des hexagonalen Mantels an den nun unter geänderten Umständen befindlichen rhombischen Kern konnte aber nicht erfolgen, ohne dass derselbe einen störenden Einfluss auf die nächstliegenden Theile *B* ausübte. Dieselben wurden in der Richtung parallel der Begrenzung von *B*/*C* zusammengedrückt und daher zweiaxig. Diese Zweiaxigkeit nimmt aber in der Richtung senkrecht zu *B*/*C* immer mehr mit dem abnehmenden Einfluss des Kernes *C* ab, bis sie im Theile *A* in die Einaxigkeit verläuft. Wo im Theile *A* andere als einaxige Partien vorkommen, haben sich die Umstände local geändert und zur Bildung derselben Veranlassung gegeben ..... Was endlich den nicht in allen Schliffen wiederkehrenden Theil *D* anlangt, so ist er wohl gleicher Bildung wie der Theil *A* und eine Ausfüllung der Hohlräume von *C* mit der Masse von *A*. Um zu diesen Hohlräumen zu gelangen, musste die Masse von *C* irgendwo Zuführungscanäle haben; in der That sind solche vorhanden, wie man sich durch Zerschneiden des Krystalls parallel *C* überzeugen kann.«

Wir stellen nun zum Schluss die Ansichten von Websky und C. Klein den unsrigen gegenüber und müssen, da weder die eine noch die andere zur Zeit bewiesen ist, es einem jeden überlassen, für welche er sich entscheiden will.

[1]) In der Figur 119 müssen rechts oben die Buchstaben A_2 und B_2 vertauscht werden.

Die Ansichten von Websky und C. Klein sind:

1) Das Mineral ist normale borsaure Thonerde.

2) Die Verbindung ist dimorph, hexagonal im Jeremejewit, rhombisch im Eichwaldit.

3) Beide dimorphen Modificationen sind orientirt mit einander verwachsen.

Ich halte es für wahrscheinlicher, dass

1) das Mineral eine isomorphe Mischung von Al_2O_3, Fe_2O_3 und B_2O_3 ist,

2) dass die Krystalle hexagonal, aber in einzelnen Schichten durch isomorphe Beimischung anomal zweiaxig sind.

Die Gründe, welche mich hierzu führen, sind kurz zusammengefasst:

Die chemische Zusammensetzung. Wegen der auch im periodischen System der Elemente hervortretenden Ähnlichkeit von Bor und Aluminium und der chemischen Verwandtschaft der Sauerstoffverbindungen B_2O_3 und Al_2O_3 halte ich die Isomorphie beider für möglich.

Die krystallographischen Verhältnisse sind so, dass das Axenverhältniss des Jeremejewit mit dem von Korund und Eisenglanz so nahe übereinstimmt, wie bei gut isomorphen Krystallen.

Die Formenausbildung der auf Eichwaldit bezogenen Partien ist nicht so gut, dass diese bestimmt als rhombisch von den andern zu trennen wären.

Optische Anomalien sind in Krystallen mit isomorpher Beimischung häufig; charakteristisch für sie ist die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung. Auch dies finden wir hier. Wie man aus Figur 118 sieht, ist die Feldertheilung in dem Kern *C* eine andere als in der Zone *B*; hiermit stimmt die äussere Begrenzung der Krystalle überein, wie aus der Beschreibung Websky's deutlich hervorgeht: »so dass eine sechsflächige Gliederung entsteht mit einer Kantenrichtung senkrecht auf die Säulenflächen, vollkommen analog den Grenzen der im polarisirten Licht erkennbaren Krystall-Individuen« (vergl. oben p. 282). Wie so oft in isomorphen Mischkrystallen scheint auch hier während des Wachsthums die Form sich geändert zu haben und mit der äusseren Begrenzung änderte sich die optische Structur.

Korund.

Literatur.

1. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 12. 1867. P. A. 126. p. 412.

2. E. Mallard. Anomal. opt. p. 150. 1876.

3. G. Tschermak. Optisches Verhalten von Korundkrystallen. T. M. M. I. p. 362—364. 1878.

4. E. Bertrand. Note sur l'andalousite du Brésil et sur les rubis de Siam. Bull. min. I. p. 95. 1878.

5. A. v. Lasaulx. Über das optische Verhalten und die Mikrostructur des Korund. Z. Kr. X. p. 346—365. 1885.

Bei Korund hat man je nach der Ursache drei verschiedene Arten von optischen Anomalien zu unterscheiden: solche, welche in der Umgebung von

Einschlüssen auftreten, andere, welche durch eingeschaltete Zwillingslamellen hervorgerufen werden und endlich die, welche mit dem zonaren Bau der Krystalle in Zusammenhang stehen. Uns interessiren besonders die letzteren; auf die ersteren haben wir bereits an anderer Stelle[1]) kurz hingewiesen und die durch eingelagerte Zwillingslamellen hervorgerufenen Störungen rechnen wir nicht zu den eigentlichen Anomalien.

Viele Krystalle von Korund, und dessen Varietäten Sapphir und Rubin besitzen schalenförmigen Bau, der durch wechselnde Färbung oder verschiedene Lichtbrechung der einzelnen Schichten mehr oder weniger deutlich hervortritt. Ganz analog wechselt das optische Verhalten oft von Schicht zu Schicht, manche sind einaxig, manche zweiaxig mit kleinerem oder grösserem Axenwinkel; die Angaben aller Forscher stimmen hierin überein.

E. Mallard fasst sich sehr kurz; eine Korundplatte zeigte Theilung in sechs zweiaxige Felder; eine andere war in der Mitte einaxig, am Rande aber zweiaxig. Die zweiaxigen Felder in den basischen Platten gehen von den Randkanten aus, jedes löscht parallel und senkrecht zu einer solchen aus.

Krystalle von Ceylon sind nach G. Tschermak im Innern einaxig, am Rande zweiaxig; der Axenwinkel beträgt $10\frac{1}{2}°$. Im parallelen Licht lässt die einaxige Mitte ein feines Gewirr von polarisirenden Theilchen erkennen. Der Korund von Barsowska im Ural zeigt nach Tschermak besonders schön den Wechsel von blauen und farblosen Schichten. Die blauen Schichten sind stellenweis unregelmässig von farbloser Substanz unterbrochen. Unter dem Mikroskop zeigt sich eine Einschaltung zweiaxiger Partikel zwischen den einaxigen, und die blauen Schichten scheinen einen grösseren Axenwinkel zu haben als die farblosen.

Am genauesten hat A. von Lasaulx das optische Verhalten des Korund untersucht und namentlich auf die störende Wirkung der eingelagerten Zwillingslamellen aufmerksam gemacht. Sehen wir von diesen ab, so sind manche Korundvorkommen vollkommen einaxig; hierher gehört der Korund vom Laacher See, von Limperich gegenüber Bonn und von Wolfshau im Riesengebirge. Andere sind zweiaxig und unter diesen lässt besonders der Korund von Ceylon den hervorgehobenen Zusammenhang der optischen Structur mit dem schaligen Bau erkennen. Der beschriebene Krystall war begrenzt von $0R$ und $\infty P2$ und frei von Zwillingslamellen.

»Der basische Schnitt liess sich sehr dünn herstellen und ist vollkommen durchsichtig. Er zeigt schon makroskopisch zonale Structur, indem parallel der sechsseitigen Umgrenzung, also den Kanten $0R : \infty P2$, abwechselnd lichtbräunliche und farblos klare Zonen sich umhüllen. . . . . . Überall zeigt sich das normale einaxige Interferenzbild. Nur in einigen der Parallelzonen zeigt sich im parallelen polarisirten Lichte ein Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit (letztere stets, wenn die Längsrichtung der Streifen parallel einem Nicolhauptschnitte). Solche Streifen zeigen auch eine schwache Dislocirung der

[1]) Vergl. oben p. 174.

Kreuzbalken des Interferenzbildes, jedoch nur so schwach, dass an eine auch nur annähernde Bestimmung des Winkels der optischen Axen nicht zu denken ist. Es ist eine Verschiebung der beiden Hyperbeln eben wahrzunehmen. Die Ebene der optischen Axen, auf welche diese schliessen lässt, liegt überall normal zur Basis und in der Längsrichtung der Zonen, d. i. also parallel der Kante $0R : \infty P2$. . . . . Es steht die Erscheinung der geringen optischen Zweiaxigkeit der einzelnen Zonen in unverkennbarem Zusammenhange mit dem sichtbaren Schalenbau nach $\infty P2$.«

Die Mehrzahl der andern von Lasaulx untersuchten Krystalle gab das regelmässige Interferenzbild einaxiger Krystalle und zeigte nur da Störungen, wo Zwillingslamellen eingelagert oder fremde Krystalle eingeschlossen waren.

Zur Erklärung der optischen Anomalien des Korund hatte Mallard angenommen, er sei aus rhombischen Lamellen aufgebaut; Tschermak meinte, dass wenn wirklich die Korundkrystalle aus zweiaxigen Theilchen aufgebaut seien, diese nur monoklin sein könnten. A. von Lasaulx sah in den Anomalien dagegen nur Störungen des normalen Verhaltens, welche durch Spannungen in einzelnen Schalen der zonal gebauten Krystalle hervorgerufen seien.

Dieser Ansicht schliessen wir uns an und erblicken die Ursache der Spannungen hauptsächlich in der isomorphen Beimischung. Fast alle Korundkrystalle enthalten mehr oder weniger Eisenoxyd isomorph beigemischt. Werfen wir einen Blick auf die in Rammelsberg's Mineralchemie p. 146 mitgetheilten Analysen, so finden wir hierüber folgendes: Orientalischer Sapphir mit 1,89% Fe_2O_3, Rubin mit 1,09—4,10 Fe_2O_3, Korund aus Kleinasien mit 1,7—8,2 Fe_2O_3 und Korund aus Ostindien 0,9—7,0 Fe_2O_3.

Die isomorphe Beimischung ist in der Regel, wie man aus dem schalenförmigen Bau schliessen kann, nicht gleichmässig im ganzen Krystall vertheilt, sondern in manchen Schichten in grösserer, in anderen in geringerer Menge enthalten, manche sind vielleicht auch ganz frei von Beimischung. In Einklang hiermit würde das optische Verhalten stehen: manche Schichten sind einaxig, andere zweiaxig und in diesen der Axenwinkel bald etwas grösser, bald etwas kleiner, im allgemeinen in engen Grenzen, zwischen 0° und 12° schwankend. Die für die durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle charakteristische Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung finden wir auch hier: die Zahl der in den basischen Platten im parallelen Licht auftretenden Felder wird durch die Zahl der Prismenflächen bestimmt.

Neben den durch die isomorphe Beimischung hervorgerufenen optischen Anomalien kommen Spannungen in der Umgebung von Einschlüssen vor und Störungen der optischen Erscheinungen durch eingelagerte Zwillingslamellen.

Rhomboëdrische Carbonate.

Zu den durch die isomorphe Beimischung anomalen Krystallen gehören vielleicht auch die rhomboëdrischen Carbonate, die von A. Breithaupt (P. A. 121. p. 328) und A. Madelung (Z. Kr. VII. p. 75) als anomal zweiaxig aufgeführt werden. Wir finden bei ihnen erwähnt: Kalkspath von vielen Fundorten, Eisenspath, Zinkspath, Himbeerspath, Rosenspath, Breunnerit, Mesitin und Spartaït. Es sei aber daran erinnert, dass auch durch eingelagerte Zwillingslamellen die optischen Erscheinungen gestört sein können (vergl. Einleitung p. 3).

Pyromorphit und Mimetesit.

Literatur.

1. A. Breithaupt. P. A. 121. p. 329. 1864.
2. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75.
3. E. Bertrand. Étude optique de différents minéraux. Bull. min. IV. p. 36. 1881.
4. Ed. Jannettaz. Note sur les phénomènes optiques de la Pyromorphite et la Mimetèse. Bull. min. IV. p. 39.
5. —— et Leop. Michel. Note sur les relations de la composition chimique et des caractères optiques dans le groupe des pyromorphites et des mimétites. Bull. min. IV. p. 196—225.
6. E. Bertrand. Sur la mimetèse de Schneeberg. Bull. min. V. p. 254. 1882.

Die ausführlichste Untersuchung über Pyromorphit und Mimetesit, in welcher die chemische Zusammensetzung und das optische Verhalten gleichzeitig berücksichtigt werden, verdanken wir Ed. Jannettaz und Leop. Michel; ihrer Abhandlung entnehmen wir die folgenden Angaben.

Reine arsenfreie Pyromorphite sind in der Regel normal optisch einaxig (Emmendingen, Baden; Braubach; Joachimsthal; Preobraschensk bei Jekaterinenburg). Bisweilen sind die Krystalle in der Mitte einaxig und scheinen am Rande zweiaxig (Friedrichssegen bei Ems; Vilseck in Bayern). Diese Störungen schieben die Verfasser mit Recht darauf, dass die Krystalle aus vielen, in nicht ganz paralleler Stellung verwachsenen Individuen bestehen. Schon die fassförmige Form dieser Krystalle kommt durch hypoparallele Verwachsung vieler Individuen zu Stande und ein Schliff, welcher für den Krystall als Ganzes die Lage der Basis hat, kann nicht alle Individuen genau senkrecht zur Prismenfläche durchschneiden, er wird die einen mehr, die andern weniger schief treffen. An Präparaten des Pyromorphit von Friedrichssegen konnte ich mich hiervon überzeugen. Ein Schliff z. B. liess im gewöhnlichen Licht einen hellen sechsseitigen Kern erkennen, der von einer schmalen dunkleren Hülle umgeben war. Im parallelen polarisirten Licht zeigte der Kern Aggregatpolarisation und schien aus lauter sechsseitigen Täfelchen zusammengesetzt; jedes Täfelchen ist der Durchschnitt durch einen Krystall, welcher sich eben dadurch von den andern abhebt, dass er mit

diesen nicht parallel ist. Die Hülle schien aus vielen dünnen Schalen zu bestehen. Das im convergenten Licht auftretende Interferenzbild war sehr verschwommen, das Kreuz öffnete sich im Kern und in der Hülle. Anders verhält sich der Mimetesit.

Der Mimetesit von Johanngeorgenstadt ist deutlich zweiaxig. Eine Platte parallel der Basis zerfällt im polarisirten Licht in sechs Felder, deren Basis je eine Prismenfläche ist. Die Ebene der optischen Axen ist in jedem Feld dieser Prismenfläche parallel; der Axenwinkel in Luft beträgt nach E. Bertrand 64°, nach Jannettaz und Michel 39°. Die Dispersion ist immer $\varrho < v$. Nach seiner chemischen Zusammensetzung ist der Mimetesit das dem Pyromorphit entsprechende Arseniat, jedoch enthält er immer etwas Phosphorsäure und zwar nach der Analyse von Wöhler 1,03% P_2O_5, von Rivot 1,30% P_2O_5, nach der unvollständigen Analyse von Jannettaz und Michel Spuren von Phosphorsäure. Die von Wöhler und Rivot gefundene Menge von Phosphorsäure würde einer Beimischung von 6—7% Pyromorphitsubstanz entsprechen.

Mischungen von Pyromorphit- und Mimetesitsubstanz sind, wenn sie überhaupt zweiaxig sind, schwächer zweiaxig als Mimetesit. Die von Jannettaz und Michel ausgeführten Analysen haben für einige Vorkommen dieser Mischungen die folgende Zusammensetzung ergeben; I Pyromorphit von Marienberg, II und III von Zschopau:

	I.	II.	III.
PbO	73,02%	71,00%	70,32%
FeO	—	1,75	—
P_2O_5	14,56	13,92	15,56
As_2O_5	2,72	3,54	2,34
$PbCl_2$	9,60	9,20	11,17
Summe =	99,90%	99,41%	99,39%

In den Krystallen von Marienberg (I) bildete der Mimetesit eine Hülle um den Pyromorphit. Die zur Analyse II benutzten Krystalle von Zschopau waren sehr klein und normal einaxig. Die Krystalle, welche zur Analyse III gedient haben, waren zwar äusserlich regelmässig, aber doch im Innern nicht einheitlich gebaut. Ein Krystall liess einen Kern mit sechs einspringenden Winkeln erkennen, so dass der Kern aus drei oder sechs Individuen aufgebaut schien, während die Hülle einheitlich und ohne einspringende Winkel war. Trotz dieser scheinbaren Störungen war das optische Verhalten des ganzen Krystalls normal. Ein anderer Krystall desselben Vorkommens erwies sich in dem Kern als zweiaxig, in der Hülle z. Th. als zweiaxig, z. Th. als einaxig.

Der Pyromorphit von Rougthen Gill mit 8,98% As_2O_5 ist in der Mitte einaxig (Pyromorphit), am Rande zweiaxig (Mimetesit), ebenso ist das Mineral aus Cornwall mit 9,28% As_2O_5 in der Mitte einaxig, am Rande zweiaxig.

Aus diesen Untersuchungen ziehen Jannettaz und Michel folgenden Schluss:

1) Reiner Pyromorphit ist einaxig,
2) reiner Mimetesit ist zweiaxig,
3) die Mischungen bestehen in der Mitte aus Pyromorphit, aussen aus Mimetesit; innige isomorphe Mischungen scheinen beide Verbindungen nur selten zu bilden,
4) durch hypoparallele Verwachsung vieler Individuen können auch die reinen Pyromorphite zweiaxig erscheinen.

Der ersten und letzten Annahme stimmen wir ganz bei, zu den beiden andern seien einige Bemerkungen gestattet.

Während Pyromorphit häufig arsenfrei ist oder nur ganz geringe Spuren von Arsen enthält, ist Mimetesit nie ganz rein, sondern enthält nach den vorhandenen vollständigen Analysen 6—7% Pyromorphitsubstanz isomorph beigemischt, und zwar nicht in isomorpher Überwachsung, denn von einem zonalen Bau wird nichts erwähnt, sondern in inniger Mischung. Nach unseren Erfahrungen können wir annehmen, dass die Zweiaxigkeit im Mimetesit hauptsächlich durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen wird. Durch nicht parallele Verwachsung mögen, wie durch wechselnde Mengen von Beimischung, Schwankungen des Axenwinkels entstehen, dass aber die Zweiaxigkeit des Mimetesit überhaupt nur auf der nicht parallelen Orientirung der Theilkrystalle beruhe, wie man wohl angenommen hat, scheint ausgeschlossen, weil gerade die Mimetesitkrystalle verhältnissmässig gut gebildet sind.

In den Mischungen soll nach Jannettaz und Michel der (einaxige) Pyromorphit in der Regel den Kern, der (zweiaxige) Mimetesit die Hülle bilden; die Unterscheidung zwischen beiden gründet sich bei ihnen auf das optische Verhalten: die zweiaxigen Zonen werden als Mimetesit, die einaxigen Partien als Pyromorphit angesprochen. Dies scheint mir nicht gerechtfertigt; es ist viel wahrscheinlicher, dass die einaxigen Theile Pyromorphit, vielleicht auch bisweilen Mimetesit sind, dass die zweiaxigen Zonen aber aus Pyromorphit- und Mimetesitsubstanz in isomorpher Mischung bestehen. Dass beide Substanzen isomorphe Mischungen bilden können, beweist das Vorkommen von P_2O_5 im Mimetesit und es ist gar nicht einzusehen, warum sie in andern Krystallen nur Überwachsungen, nicht auch Mischungen bilden sollten. Durch die isomorphe Beimischung sind aber diese Zonen zweiaxig.

Unsere Auffassung ist also die folgende:

1) Reiner Pyromorphit ist einaxig.
2) Reiner Mimetesit ist nicht bekannt, würde wahrscheinlich ebenfalls optisch einaxig sein.
3) Isomorphe Mischungen von Pyromorphit- und Mimetesitsubstanz sind durch die isomorphe Beimischung zweiaxig; die optische Structur steht mit der äusseren Begrenzung in engem Zusammenhang (Mimetesit). Krystalle, welche aus einaxigen und zweiaxigen Schichten bestehen, enthalten in den zweiaxigen isomorphe Beimischung.

4) Durch hypoparallele Verwachsung vieler Individuen können die optischen Erscheinungen gestört werden, auch reiner Pyromorphit kann zweiaxig scheinen, ohne es zu sein.

Vesuvian.

Literatur.

1. A. Des Cloizeaux. Manuel p. 280. 1862. P. A. 126. p. 412.
2. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75.
3. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 13. 1867.
4. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 239.
5. E. Mallard. Anom. opt. p. 133—134. 1876.
6. A. Březina. Grundform des Vesuvian. T. M. M. 1877. p. 98.
7. E. Schuhmacher. Über Vesuvian im Kalklager von Deutsch-Tschammendorf, südlich Strehlen. N. Jb. 1878. p. 818.
8. A. von Lasaulx. Idokras von Gleinitz und dem Johnsberge bei Jordansmühl. Z. Kr. IV. p. 170. 1879.
9. F. Klocke. Über ein optisch analoges Verhalten einiger doppeltbrechender regulärer mit optisch zweiaxig erscheinenden tetragonalen Krystallen. N. Jb. 1881, I. p. 204.
10. —— Über die Wirkung eines einseitigen Druckes auf optisch anomale Krystalle von Alaun, Idokras und Apophyllit. Ber. über die Verhandlgn. der naturf. Ges. zu Freiburg i. B. VIII. und N. Jb. 1881, II. p. 255.
11. C. Dölter. Erhitzungsversuche an Vesuvian, Apatit, Turmalin. N. Jb. 1884, II. p. 217.
12. H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. II. Aufl. p. 320. 1885.
13. R. Prendel. Über den Wiluit. Auszug aus einer in den Abhandlgn. der neuruss. naturf. Ges. zu Odessa erschienenen ausführl. Abhandlung in Z. Kr. XVII. p. 94—96. 1889.

Die Doppelbrechung des Vesuvian ist immer sehr schwach, die Differenz $\omega - \varepsilon$ übersteigt nach Rosenbusch kaum je den Werth 0,0015. Der Charakter der Doppelbrechung ist in der Regel negativ, in dem sogenannten Wiluit aber positiv; auch die Doppelbrechung ist in dem Wiluit stärker als in den anderen Vesuvianen. Nach Rosenbusch wechselt oft in ein und demselben Krystall nicht nur die Stärke der Doppelbrechung von Schicht zu Schicht, sondern bisweilen auch der Charakter derselben (Hammerfjeld in Norwegen). In beiden Fällen treten in Schliffen parallel der Hauptaxe im parallelen polarisirten Licht streifenartig sich folgende Interferenzfarben auf, während die Schliffe im gewöhnlichen Licht absolut einfarbig sind.

Die chemische Zusammensetzung des Vesuvian ist bekanntlich sehr complicirt und jedenfalls ohne Annahme isomorpher Mischungen nicht zu erklären. Durch die Verschiedenheit der isomorphen Mischung würde man die Verschiedenheit des optischen Charakters erklären können. In der That ist der positive Vesuvian vom Wilui anders zusammengesetzt als die übrigen Vesuviane, welche negativ sind; er enthält weniger Wasserstoff und mehr Magnesia. Während die Formel der übrigen Vesuviane nach Rammelsberg (Mineralchemie p. 602)



$$H_{14}\,\overset{II}{R}_{40}\,\overset{VI}{R}_{10}\,Si_{35}\,O_{147} \text{ ist,}$$

würde die des Vesuvian vom Wilui



$$H_{6}\,\overset{II}{R}_{41}\,\overset{VI}{R}_{10}\,Si_{35}\,O_{147} \text{ sein.}$$

In beiden kann H durch Na und K vertreten sein, $\overset{II}{R}$ ist = Ca, Mg, Fe und $\overset{VI}{R}$ = Al, Fe. Im Vesuvian vom Wilui würden 8 H durch 4 $\overset{II}{R}$ vertreten sein.

Ebenso wie nach unserer Auffassung die Verschiedenheit des optischen Charakters auf Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung beruht, würde der Wechsel in der Stärke der Doppelbrechung in der wechselnden Mischung der negativen und positiven, für sich unbekannten Grundverbindungen zu suchen sein. Auf derselben Ursache, dem Vorhandensein einer isomorphen Beimischung, beruhen nach unserer Annahme hauptsächlich die optischen Anomalien des Vesuvian.

Ich beginne mit der Beschreibung des Vesuvian vom Wilui; einen Krystall, der von $\infty P(110)$, $\infty P\infty(100)$, $P(111)$ und $0P(001)$ begrenzt war, habe ich von der Basis bis zur Mitte senkrecht zur Axe so in fünf Theile geschnitten, dass der erste die natürliche Basis enthielt, der fünfte durch die Mitte des Krystalls ging. Die Schliffe zeigen folgendes Verhalten:

1) Erster Schliff (Fig. 120, Taf. V) von der Oberfläche mit natürlicher Basis, ist im parallelen Licht in der Normalstellung dunkel; in der Diagonalstellung treten aus der dunklen Hauptmasse viele kurze hellere Streifen hervor, welche normal zu den Randkanten verlaufen, sich vielfach durchkreuzen und so eine Gitterstructur erzeugen, die an die des Mikroklin erinnert. Die Streifen setzen nicht scharf ab, sondern gehen allmählich in die dunkle Masse über. Die Lage der optischen Elasticitätsaxen innerhalb der Streifen ist nicht constant, bald fällt die grösste, bald die kleinste Elasticitätsaxe in ihre Längsrichtung.

Im convergenten Licht erweist sich die Platte als schwach zweiaxig, das schwarze Kreuz öffnet sich beim Drehen des Präparates nur sehr wenig, der Axenwinkel schwankt zwischen 0° und etwa 5°.

2) Zweiter Schliff (Figur 121) durch die Flächen der Pyramide. Im parallelen Licht bemerkt man ein Mittelfeld, welches sich so verhält wie der erste Schliff. Hiervon heben sich schwach vier Randfelder dadurch ab, dass die verschwommenen helleren Streifen in ihnen länger und immer senkrecht zu der zugehörigen Randkante gerichtet sind, sich also nicht durchkreuzen; auch hier fällt bald die grössere, bald die kleinere Elasticitätsaxe in die Längsrichtung der Streifen.

Im convergenten Licht verhält sich die Platte wie die vorige.

3) Dritter Schliff, durch die Combinationskanten von $\infty P : P$, verhält sich wie der zweite Schliff, nur an zwei Stellen des Randes, wo Prismenflächen getroffen waren, liegt ein schmales doppelbrechendes Feld, welches sich so verhält wie die Randfelder im folgenden Schliff.

4) Vierter Schliff, durch die Prismen $\infty P(110)$ und $\infty P\infty(100)$, daher Umriss achtseitig. Im parallelen Licht erscheint zunächst wieder ein breites Mittelfeld, welches sich verhält wie Schliff 2, im Centrum also ein Feld von der Beschaffenheit des ersten Schliffes hat. Dies Mittelfeld wird umgeben von acht doppelbrechenden Feldern (Figur 122), von denen je vier zu gleicher Zeit auslöschen. In der der Diagonalstellung entsprechenden Lage zeigt das Mittelfeld seine charakteristische Beschaffenheit, die vier von $\infty P\infty(100)$ ausgehenden Felder befinden sich in der Auslöschungslage, die vier andern grösseren, welche von $\infty P(110)$ ausgehen, sind hell; die kleinste Elasticitätsaxe ist in jedem normal zur Randkante. Die Streifensysteme des Mittelfeldes fehlen hier, dagegen sieht man feine Streifen parallel den Randkanten: das ganze Feld ist hell und erscheint in dem Grau-Gelb der I. Ordnung und linienartig treten in ihm schmale, scharfe Streifen hervor, welche etwas heller, oder auch etwas dunkler sind als die benachbarte Masse; in ihnen ist die Doppelbrechung stärker oder schwächer als in der Umgebung, wie dies bei Vesuvian so häufig ist; in den folgenden Schliffen tritt dies ebenfalls hervor.

In der der Normalstellung entsprechenden Lage (Figur 123) löscht das Mittelfeld und die vier grossen Randfelder vollständig aus, und nur die vier kleinen, von $\infty P\infty(100)$ ausgehenden Felder sind hell, verhalten sich im übrigen wie die grossen Felder. Die kleinste optische Elasticitätsaxe ist ebenfalls senkrecht zur Randkante in jedem. Dispersion schwach, $v > \varrho$.

Im convergenten Licht erweist sich jedes der Randfelder als zweiaxig, die Ebene der optischen Axen ist in jedem Felde der zugehörigen Randkante parallel (vergl. Figur 124), der Axenwinkel im allgemeinen in der Nähe des Randes am grössten (30°—40°) und nimmt nach dem Innern zu ab; das Mittelfeld ist wie vorher sehr schwach zweiaxig. Der optische Charakter kann in allen Fällen als positiv festgestellt werden.

5) Fünfter Schliff durch die Mitte des Krystalls; er durchschneidet wie der vorige die acht Prismenflächen und verhält sich diesem ganz analog; jedoch tritt das Mittelfeld zurück und die Randfelder überwiegen (Figur 124).

Ein Schliff parallel einer Pyramidenfläche erweist sich als homogen und verhält sich normal. Auslöschung erfolgt parallel der Höhenlinie und die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt, dem positiven Charakter der Doppelbrechung entsprechend, in die Richtung der Höhenlinie.

Der Vesuvian vom Wilui ist vor einiger Zeit auch von Prendel (13) untersucht worden. Der von ihm beschriebene Schliff senkrecht zur Axe würde nach seiner Lage im Krystall nahezu unserem fünften Schliff entsprechen und zeigt wie dieser ein im parallelen Licht fast wirkungsloses, im convergenten Licht schwach zweiaxiges Mittelfeld, umgeben von acht deutlich zweiaxigen Feldern; in jedem dieser Felder ist, wie in unseren Schliffen, die Axenebene der Randkante parallel, der Axenwinkel steigt bis zu 30° und 35°. Dispersion $v > \varrho$.

»Schliffe nach einer Prismenfläche löschen einheitlich horizontal und vertical aus, zeigen aber eine Theilung in zwei Substanzen (vergl. Fig. 125), eine meist homogene *A* und eine sanduhrförmig gestaltete *B*, welche einen schaligen Aufbau mit etwas verschiedener Doppelbrechung der einzelnen Lamellen besitzt« (Prendel, 13. p. 95). In der von Prendel gegebenen Abbildung, Figur 125, erkennt man die Theile unserer senkrecht zur Axe geführten Schliffe wieder. Der »meist homogene« Theil *A* nimmt den ersten und zweiten Schliff ganz, in den andern das Mittelfeld ein, die Theile *B*, welche von den Prismenflächen ausgehen, geben die acht doppelbrechenden, zweiaxigen Felder.

Wie man hieraus sieht, steht die optische Structur mit der äusseren Begrenzung im engsten Zusammenhang; dasselbe wird uns bei Betrachtung der Vesuviankrystalle von andern Fundorten wieder begegnen.

Der Vesuvian aus dem Alathal in Piemont ist nicht so schön krystallisirt wie der vom Wilui. Abgesehen davon, dass oft nicht ganz parallele Individuen zu einem scheinbar einheitlichen Krystall verwachsen, sind die Prismenflächen schmal, durch oscillirende Combination mehr oder weniger stark vertical gerieft, und die Krystalle hierdurch und durch Zutritt zwölfseitiger Prismen meist walzenförmig gebildet. Mit der äusseren Form steht ganz im Einklang das optische Verhalten.

Das regelmässigste Präparat, welches ich gesehen habe, ist in Figur 126 abgebildet. Die senkrecht zur Axe geschnittene Platte lässt in der Diagonalstellung im parallelen Licht vier schwarze, gerade Linien erkennen, welche von einem kleinen Mittelfeld nach den Ecken gehen, in der Nähe derselben umbiegen und allmählich am Rande verlaufen. Die von ihnen eingeschlossenen vier Felder erscheinen im Grau der ersten Ordnung und sehen aus, als seien sie faserig, obgleich sie dies in Wirklichkeit nicht sind; es beruht dies vielmehr darauf, dass die Doppelbrechung nicht überall gleich stark ist. In jedem Feld ist die kleinste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante, wie in dem Vesuvian vom Wilui, die optische Axenebene ist aber eine andere. In der Normalstellung tritt vollständige Auslöschung ein.

Im convergenten Licht erweist sich wieder jedes Feld als zweiaxig, die Axenebene ist aber nicht parallel zur Randkante wie im Vesuvian vom Wilui, sondern senkrecht dazu, auch ist der Axenwinkel kleiner. Dispersion wieder $v > \varrho$. Auch hier ist der Axenwinkel in der Mitte am kleinsten, fast Null, und wird nach dem Rand hin grösser. Der Charakter der Doppelbrechung ist negativ.

Andere Platten aus dem Vesuvian von Ala liessen einen viel complicirteren Aufbau erkennen; im Innern wiederholt sich oft mehrmals die Feldertheilung, wie es scheint, weil mehrere Individuen zu einem Krystall verbunden sind, und am Rande tritt eine deutliche Zonenstructur auf. Diese entsteht hauptsächlich dadurch, dass, wie so oft bei Vesuvian, von Schicht zu Schicht die Stärke der Doppelbrechung wechselt. Wie oben hervorgehoben, sind die Prismen walzenförmig und vertical gerieft. In den Platten senkrecht zur Axe tritt nun jede der Prismenflächen als ein kleiner doppelbrechender Streifen hervor, und zwar nicht nur die, welche ihn jetzt begrenzen, sondern auch die, welche ihn im Laufe des

Wachsthums begrenzt haben. Man sieht so oft, dass in einer früheren Periode des Wachsthums die Zahl der Prismenflächen eine andere war, als zuletzt, namentlich ist die walzenförmige Rundung zuletzt erst aufgetreten, denn ein fast runder Streifen umschliesst alle andern. An den Stellen, wo auf den Prismenflächen rinnenartige Vertiefungen, also kleine einspringende Winkel waren, bildet der doppelbrechende Streifen ebenfalls einen einspringenden Winkel, und es wird auf diese Weise eine festungsartige Zeichnung erzeugt, die sogar schon im gewöhnlichen Licht durch geringe Farbenuuterschiede der einzelnen Zonen hervortritt. Vielfach sieht man, dass vorher vorhandene Rinnen während des Wachsthums zugewachsen, oder neue entstanden sind. Durch alles dies werden die Randfelder sehr vielgestaltig, überall aber erkennt man den Einfluss der äusseren Begrenzung auf die optische Structur.

Die geringen Farbenunterschiede der einzelnen Zonen deuten darauf hin, dass während des Wachsthums der Krystalle eine geringe Änderung in der Lösung stattgefunden hat; hiermit änderte sich die Form durch Zurücktreten vorhandener und Auftreten neuer Flächen, und es änderte sich die Stärke der Doppelbrechung in den neu abgesetzten Schichten.

Die von Mallard (5) und Klocke (9. 10) gegebene Beschreibung des Vesuvian von Ala weicht von der unsrigen in keinem wesentlichen Punkte ab; jedoch erwähnen sie nicht die charakteristische Zonenstructur der Randfelder.

In dem Vesuvian vom Wilui und dem aus dem Alathal haben wir gleichsam die Typen aller andern. Hier Krystalle mit walzenförmigen Prismen und complicirter Zonarstructur, dort Krystalle mit grossen Prismenflächen und einfacher Feldertheilung. So wie in diesen beiden Beispielen entspricht die optische Structur immer der äusseren Begrenzung, sie ist einfach, wenn die Begrenzung einfach ist, complicirt, wenn viele Flächen auftreten. Von jeder Prismenfläche geht in Schliffen nach der Basis ein doppelbrechendes Feld in das Innere, weil die parallel den Prismenflächen abgesetzte Substanz zweiaxig ist. Das Feld ist breit, wenn die Prismenfläche breit ist, schmal, wenn diese schmal ist; es geht tief in den Krystall hinein, wenn die Prismenfläche frühzeitig oder von Anfang an am Krystall vorhanden war; es ist gleichmässig doppelbrechend, wenn die Substanz gleichartig ist; es zeigt von Schicht zu Schicht wechselnde Stärke, unter Umständen auch wechselnden Charakter der Doppelbrechung, wenn die Zusammensetzung von Schicht zu Schicht wechselt. Hiermit ist das anomale optische Verhalten des Vesuvian im wesentlichen charakterisirt.

Auf sein Verhalten bei höherer Temperatur haben früher Des Cloizeaux (3) und Mallard (Bull. min. V. p. 241) den Vesuvian untersucht, ohne besondere Veränderungen beobachtet zu haben. Genauer sind die Beobachtungen von C. Dölter (11). Hiernach sollen sich die Vesuviane beim Erwärmen verschieden verhalten, je nachdem der Axenwinkel von Natur kleiner oder grösser ist; in diesen nimmt er mit steigender Temperatur ab, in jenen zu. Z. B. in einem Vesuvian vom Vesuv war der Axenwinkel vor dem Erwärmen 7°, bei lichter Rothgluth 21°; in einem Vesuvian von Ala 4°, nach dem Erhitzen im Gebläse 14°; diese Veränderung erhielt sich auch nach dem

Abkühlen. Ein anderer fast einaxiger Krystall ebenfalls von Ala wurde in Rothgluth zweiaxig mit einem Axenwinkel von etwa $11\frac{1}{2}°$.

In solchen Krystallen, welche einen grösseren Axenwinkel besitzen, nimmt er mit steigender Temperatur ab: ein Vesuvian, wahrscheinlich von Piemont, hatte einen Axenwinkel von 24°; bei lichter Rothgluth betrug er nur noch 9° und wurde bei weiterem Erhitzen noch kleiner, beim Erkalten wieder schnell gross. Ähnlich verhielt sich ein Vesuvian vom Vesuv.

Bei Beurtheilung dieser Versuche muss man berücksichtigen, dass bei der Art der Erhitzung — »der Krystall wurde durch eine sehr feine, vermittelst eines Gebläses erzeugte Löthrohrflamme gleichmässig bis zur Rothgluth, ja sogar zur beginnenden Weissgluth erhitzt« — eine ungleichmässige Erwärmung sich nicht vermeiden lässt, hierdurch aber nothwendig Spannungen entstehen, wodurch einaxige Platten zweiaxig werden, in zweiaxigen aber der Axenwinkel geändert wird. Sollten jene von Dölter beobachteten Veränderungen nicht auf ungleichmässige Erhitzung zurückzuführen sein?

Im Vesuvian vom Wilui beginnt beim Erhitzen eine Veränderung zwischen 200° und 300°; der centrale Theil wird ganz einaxig, in den Randpartien wird der Axenwinkel kleiner bis zu etwa 10°, wenn man die Erhitzung bis zur Rothgluth fortsetzt; nach längerem Erhitzen und raschem Abkühlen bleiben die Veränderungen dauernd (13).

Wird auf eine senkrecht zur Axe geschliffene Platte eines Vesuvian ein Druck normal zu zwei gegenüberliegenden Prismenflächen ausgeübt, so wird in zwei Feldern der Axenwinkel kleiner, bei weiterem Pressen gleich Null, um sich, wenn der Druck noch mehr gesteigert wird, in einer zur ersten senkrechten Ebene zu öffnen; in den beiden andern Feldern wird der Axenwinkel immer grösser, so dass am Ende des Versuches die Richtung der Axenebene innerhalb der Platte überall dieselbe und nur die Grösse des Axenwinkels verschieden ist. Da nun in den negativen Krystallen die Ebene der optischen Axen normal zur Randkante eines jeden Feldes (Figur 127), in den positiven parallel hierzu (Figur 128) ist, so wird bei genügendem Druck in den ersteren die Ebene der optischen Axen parallel zu den beiden Randkanten (10) (vergl. Figur 127 *a*), in den andern senkrecht hierzu (Figur 128 *a*). Da die Stärke der Zweiaxigkeit innerhalb eines Feldes verschieden ist, so kann in einem bestimmten Augenblick während des Druckversuchs am Rande etwa die Axenebene noch dieselbe und nur der Axenwinkel kleiner sein, dann könnte eine einaxig gewordene Partie folgen und in der ursprünglich einaxigen oder nur schwach zweiaxigen Mitte könnte die Axenebene sich bereits in eine zur ersten senkrechten Richtung umgelagert haben (10).

Das optische Verhalten des Vesuvian ist in mancher Hinsicht dem der regulären, durch isomorphe Beimischung doppelbrechenden Krystalle ähnlich, hier wie da steht die optische Structur, die Feldertheilung, mit der äusseren Form in engem Zusammenhang und wechselt mit dieser.

Kommen wir auf die Vorstellung zurück, die wir uns durch Betrachtung der regulären, durch isomorphe Beimischung doppelbrechenden Krystalle ge-

bildet hatten, dass die Anomalien durch irgendwelche Druck- oder Zugkräfte hervorgerufen werden, welche innerhalb der Kryställchen und senkrecht (oder schief) hierzu, also innerhalb der Anwachskegel wirken, so sehen wir hier bestätigt, was wir dort gefunden hatten, dass das optische Verhalten nach einer Fläche von der Symmetrie dieser Fläche abhängt.

Wenn innerhalb der Basis in der Richtung der gleichen Symmetrielinien gleiche Druck- oder Zugkräfte wirken und normal zu ihr andere, so bleibt die Einaxigkeit erhalten. In den Krystallen des Vesuvian ist die parallel der Basis abgelagerte Substanz im Bezirk der natürlichen Basisfläche einaxig oder nur schwach zweiaxig. Innerhalb einer Prismenfläche aber haben wir zwei auf einander senkrechte ungleiche Symmetrielinien, und die Normale zur betreffenden Fläche ist von diesen verschieden. Werden diese Richtungen zu Druck- oder Zugrichtungen, so entstehen drei auf einander senkrechte ungleiche Elasticitätsaxen, optisch also Zweiaxigkeit. Die parallel den Prismenflächen abgelagerte Substanz ist zweiaxig, die optische Axe ist zur ersten Mittellinie geworden.

Apophyllit.

Literatur.

1. D. Brewster. Ed. J. I. p. 1—8. 1819.
2. —— Memoirs of the Wernerian natural history society. III, und G. A. 69 (9). p. 1. 1821.
3. —— Ed. Trans. IX, II. p. 317—336. 1823.
4. —— Optics 1831. p. 244.
5. Biot. Pol. lam. p. 673—725. 1841.
6. A. Des Cloizeaux. Manuel, I. p. 126. 1862.
7. —— Nouv. rech. p. 11. 1867.
8. E. Mallard. Anom. opt. p. 121—132.
9. J. Rumpf. Über den Krystallbau des Apophyllits. T. M. M. II. p. 369—391. 1880. Referat von F. Klocke im N. Jb. 1880, II. p. 11.
10. F. Klocke. Über ein optisch analoges Verhalten einiger doppeltbrechender regulärer mit optisch zweiaxig erscheinenden tetragonalen Krystallen. N. Jb. 1881, I. p. 204.
11. —— Über die Wirkung eines einseitigen Druckes auf optisch anomale Krystalle von Alaun, Idokras und Apophyllit. Ber. über die Verhandlgn. der naturf. Ges. zu Freiburg i. B. VIII und N. Jb. 1881, II. p. 256—260 u. 266.
12. C. W. Cross and W. F. Hillebrand. On the minerals, mainly Zeolites, occurring in the basalt of Table Mountain, near Golden, Colorado. Am. Journ. of Science, 1882, XXIII. p. 452 und XXIV. p. 129. Referat im N. Jb. 1883, II. p. 30 und Z. Kr. VII. p. 428.
13. C. Klein. Apophyllit von Table Mountain, Golden, Colorado, von den Farör und und von Guanajuato, Mexico. N. Jb. 1884, I. p. 253—256.
14. W. Klein. Beiträge zur Kenntniss der optischen Änderungen in Krystallen unter dem Einfluss der Erwärmung. Z. Kr. IX. p. 45. 1884.
15. Fr. Rinne. Über Milarit, Apophyllit und Rutil. N. Jb. 1885, II. p. 19.
16. W. C. Brögger. Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der südnorwegischen Augit- und Nephelinsyenite. Z. Kr. XVI. p. 646. 1890.

Die chemische Zusammensetzung des Apophyllit weist nicht so entschieden wie z. B. die des Vesuvian auf isomorphe Mischung hin, man müsste denn

annehmen, dass in der einen der beiden Grundverbindungen die Hydroxylgruppe, in der andern statt dieser Fluor enthalten sei. Man kann aber hierüber nichts bestimmtes sagen, da man die Constitution des Apophyllit nicht kennt und gar nicht weiss, welche Rolle das Fluor in ihm spielt.

Dass aber in dem Apophyllit eine isomorphe Mischung von zwei unbekannten Grundverbindungen vorliegt, kann man daraus schliessen, dass er bald optisch positiv, bald negativ ist. Derartige Verschiedenheiten im optischen Charakter kennen wir wohl von solchen Krystallen, welche isomorphe Beimischung enthalten, wie den unterschwefelsauren Salzen, von Chabasit, Vesuvian und andern, nicht aber von solchen, welche keine isomorphe Beimischung enthalten; und auch in isomorphen Mischungen können wir nur dann Schwankungen im Charakter der Doppelbrechung erwarten, wenn, wie in den unterschwefelsauren Salzen, der optische Charakter der Grundverbindungen verschieden, positiv in der einen, negativ in der andern ist. Aus der Analogie mit diesen Beispielen schliessen wir, dass auch der Apophyllit eine isomorphe Mischung von zwei Grundverbindungen ist, von denen die eine positiv, die andere negativ ist.

Die schon von Brewster (1. 3) sehr ausführlich beschriebenen optischen Anomalien des Apophyllit haben grosse Ähnlichkeit mit denen des Vesuvian. Wir haben bei Vesuvian gesehen, dass die optische Structur mit der äusseren Begrenzung eng zusammenhängt und dass die Grösse des nur sehr schwach zweiaxigen Mittelfeldes von aussen nach innen allmählich abnimmt. Dasselbe gilt für den Apophyllit, der nach dieser Richtung hin besonders von C. Klein (13) untersucht worden ist.

Die von C. Klein untersuchten Krystalle stammten von Golden, Colorado, und waren begrenzt von $P(111)$, $\infty P\infty(100)$ und $0P(001)$; die Kanten der Pyramide waren gekerbt.

»Wird ein Krystall letzterer Art nach der Basis gespalten und in Stücke zerlegt, so zeigen die zunächst der Spitze dem Krystall entnommenen Viertheilung mit einem der Basis entsprechenden, unregelmässig begrenzten und öfters nicht einheitlichen Mittelfeld (Fig. 129, Taf. V). In jedem Randfeld ist die grösste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante.

»Ein Stück weiter von der Spitze ab zeigt das Grösserwerden der vier Felder und das Kleinerwerden des Mittelfeldes (Figur 130).

»In einem noch tieferen Spaltstück tritt $\infty P\infty(100)$ als Begrenzungselement hinzu; an den betreffenden Combinationskanten treten flachdreieckige Partien von unbestimmter Auslöschung und wechselnder Änderung des Tons des Gypsblättchens auf. Das Basisfeld wird wieder kleiner (Figur 131).

»Ist endlich in der Schliffbegrenzung nur das Prisma $\infty P\infty(100)$ vorhanden, so sind die vorhin erwähnten dreieckigen Theile noch grösser geworden. Das Basisfeld ist fast völlig verschwunden. Die vier ersterwähnten Sectoren sind noch vorhanden (Figur 132).

»Hat nun der Krystall keine natürliche Endfläche, so fehlt in den betreffenden Spaltstücken das Mittelfeld und die vier Sectoren stossen entweder

mit scharfen Grenzen oder so zusammen, dass sie eine kleine Zone undeutlicher Auslöschung und wechselnder Gestalt trennt.

»Hierdurch scheint mir ein Einfluss der Begrenzungselemente auf die optische Structur erwiesen.«

Ebenso besteht ein Einfluss der Verzerrung; denn sind die Krystalle »verzerrt«, so geht die Grenze der optisch verschiedenen Felder nicht von der Ecke, sondern von einem Punkt einer Kante aus.

Ähnlich wie der Apophyllit von Golden verhält sich nach Mallard (8) der von den Farör, dessen Krystalle von dem Prisma $\infty P\infty$ (100), der Basis $0P$(001) und kleinen Pyramidenflächen P(111) begrenzt sind. Die Spaltblättchen vom Ende sind fast ganz einaxig, nur an jeder Ecke ist ein kleines zweiaxiges Feld. Die Blättchen aus der Mitte dagegen zeigen Feldertheilung nach den Mitten der vier Kanten; jedes Feld ist zweiaxig und die Ebene der optischen Axen fällt in die Richtung der Diagonale.

Der Apophyllit von Andreasberg, an welchem die Basis als Krystallfläche nicht ausgebildet ist, ist von Mallard und F. Klocke näher untersucht worden. In dem Referat über die Arbeit von Rumpf (9) giebt F. Klocke von dem Apophyllit von Andreasberg folgende Beschreibung:

»Spaltet man aus der Spitze eines farblosen Apophyllit von Andreasberg (welches Vorkommen zu den typisch zweiaxigen Apophylliten gehört) ein Blättchen nach der Basis, so erscheint es zwischen gekreuzten Nicols mit Hellblaugrau I. Ordnung aufgehellt und von einem sich kräftig abhebenden schwarzen Kreuz in vier dreieckige Sectoren zerlegt. Dieses breitere oder schmälere Kreuz, dessen Arme in die beiden verticalen Axenebenen des Krystalls fallen, die Mitte der Platte also mit den Ecken verbinden, dreht sich mit der Platte und hellt sich in keiner Stellung auf. Die vier hellen Sectoren löschen, abgesehen von einzelnen kleinen, unregelmässig begrenzten, nicht homogenen Stellen, gleichzeitig aus, wenn die Platte in eine Stellung gedreht ist, dass die Randkanten der Pyramide in die Nicolhauptschnitte fallen. Im convergenten Licht giebt jeder der vier Sectoren ein normales zweiaxiges Interferenzbild, und steht in jedem Sector die Ebene der optischen Axen senkrecht zu der betreffenden Randkante der Platte, also senkrecht zu ∞P(110).«

Der Axenwinkel in den zweiaxigen Theilen ist nicht constant, sondern nimmt von innen nach aussen stetig zu (10).

In denjenigen Krystallen, welche für eine bestimmte Farbe, etwa Roth, positiv, für eine andere, Blau, negativ sind, sieht man am Rande der basischen Platten oft schmale Schichten von entgegengesetztem optischen Charakter mit einander abwechseln, während die Mitte im parallelen Licht unbestimmt fleckig erscheint. Im convergenten Licht geben diese Platten wegen der äusserst schwachen Doppelbrechung so verschwommene Bilder, dass man über die Richtung der optischen Axenebene in den zweiaxigen Partien kaum etwas bestimmtes aussagen kann; sie scheint immer senkrecht zu der zugehörigen Randkante zu sein.

Betrachtet man Krystalle nach ihren natürlichen Prismenflächen im parallelen polarisirten Licht, so sieht man parallel den Kanten verlaufende lebhafte Streifensysteme, welche dadurch hervortreten, dass die Interferenzfarben in ihnen verschieden sind. Diese auffallende, schon von Brewster beobachtete und abgebildete Erscheinung beruht offenbar darauf, dass die Stärke der Doppelbrechung innerhalb des Krystalls von Schicht zu Schicht wechselt. In Vesuviankrystallen beobachtet man bisweilen ähnliches. Hiermit nicht zu verwechseln sind die Erscheinungen, welche in Platten parallel den Prismenflächen im convergenten Licht hervortreten.

Wird eine Platte parallel der Basis einem senkrecht zu zwei Seitenflächen wirkenden Druck unterworfen, so wird der Axenwinkel in den beiden in der Druckrichtung liegenden Feldern grösser, in den beiden andern kleiner (11), wie man es auch nicht anders erwartet, da in den zweiaxigen Feldern die grösste optische Elasticitätsaxe normal zu der Randkante ist und durch den Druck nur vergrössert wird.

Beim Erhitzen ändert sich die optische Structur nicht und der Grad der Doppelbrechung entweder ebenfalls nicht oder nur sehr unbedeutend. Bei stärkerem Erhitzen werden die Krystalle trüb und milchweiss, nach Befeuchten mit Wasser wieder annähernd so wie früher (13).

Bei einseitiger Erwärmung wird der Axenwinkel grösser oder kleiner, je nachdem die Wärme zugeleitet wird (14); sie ruft eben dieselben Veränderungen hervor, wie ein in derselben Richtung wirkender Druck oder Zug.

Die Ätzfiguren auf der Basis lassen keine Beziehungen zu den optischen Feldern erkennen; F. Rinne konnte beobachten, dass drei optisch verschiedene Felder durch eine grosse Ätzfigur hindurchzogen (15).

Die Schlagstrahlen verlaufen parallel $\infty P\infty$ (100), jedoch sind nur ganz kleine Schlagfiguren gut, da das Material für grössere zu inhomogen ist[1]).

Der Blätterbruch parallel der Basis geht in gleicher Vollkommenheit durch den Krystall durch; in den Spaltblättchen hat F. Klocke ein sogenanntes Skelett wiederholt beobachtet.

»Ein solches Skelett (wie Boracit) besitzen auch die Apophyllit-Krystalle; es durchsetzt sie nach den beiden verticalen Axenebenen. Am Albin von Aussig zeigt es sich zuweilen deutlichst auf den Spaltungsflächen als klares diagonales Kreuz in der im Übrigen umgewandelten weissen Masse. Gemeinschaftlich mit meinem verehrten Freunde Professor F. Ulrich habe ich es bei einer Durchsicht seiner reichhaltigen Sammlung von Harz-Mineralien auch in dem Apophyllit des Radauthales aufgefunden.

»Auch gegen Lösungsmittel zeigt sich das Skelett widerstandsfähiger als die übrige Masse. Ätzt man Spaltungsplatten des Apophyllit von Andreasberg, so bedecken sich zuweilen nur die vier optisch zweiaxigen Felder mit Ätzfiguren, während das einaxige Skelett davon frei bleibt und hell aus der durch die Ätzfiguren getrübten Zwischenmasse hervortritt« (11. N. Jb. p. 266).

---

1) O. Mügge. N. Jb. 1884, I. p. 5.

Wenn man die optischen Anomalien des Apophyllit zu deuten versuchen will, so muss man vor allen Dingen daran denken, dass die Form der Krystalle genau der quadratischen Symmetrie entspricht. Hieran ändert auch nichts die Arbeit von J. Rumpf.

An anderer Stelle (p. 46) haben wir dieselbe bereits besprochen und hervorgehoben, dass J. Rumpf allein durch das Studium der Flächenbeschaffenheit des Apophyllit zu der Ansicht geführt wurde, der Apophyllit bestünde aus monoklinen Individuen, obwohl der Winkel des Prisma genau 90° beträgt. Dass die Ausführungen von Rumpf in keiner Weise überzeugend sind, sehen wir u. a. aus der Bemerkung, die P. Groth dem Referat[1]) über jene Arbeit hinzugefügt hat: »Trotz der an vielen Stellen der soeben referirten Arbeit wiederholten Behauptung des Verfassers, dass Derselbe sich von der Zusammensetzung der Apophyllitkrystalle aus monosymmetrischen Individuen überzeugt habe, muss der Unterzeichnete bekennen, dass es ihm nicht gelungen ist, irgendwo in der Arbeit einen überzeugenden Beweis für die Richtigkeit jener Ansicht zu entdecken; dieselbe bringt zwar eine Anzahl werthvoller Notizen über die Wachsthumserscheinungen des in Rede stehenden Minerals, aber kein neues Moment für die Entscheidung der Frage nach dessen Krystallsystem.«

Man kann also die Form des Apophyllit nicht anders als quadratisch bezeichnen; die Prismenwinkel sind genau 90° gross, die Winkelwerthe der Pyramiden sind etwas schwankend, hauptsächlich weil die Flächen nicht ganz eben sind, vielleicht auch wegen isomorpher Beimischung.

Weil die Krystalle des Apophyllit häufig Zweiaxigkeit erkennen lassen, ist es für E. Mallard selbstverständlich, dass sie nicht quadratisch sind; nach seiner Ansicht sind die Individuen, welche einen Krystall aufbauen, monoklin. Um aber das Vorkommen von negativen Krystallen neben positiven zu erklären, reicht seine Theorie nicht aus, er muss noch die weitere Annahme machen, dass gewisse Störungen stattgefunden haben, wodurch der optische Charakter bald positiv bald negativ geworden ist: »Si le réseau fondamental était exactement quadratique, la fusion des deux réseaux 1 et 3 pourrait se faire sans que chacun des deux fût altéré, et les constantes optiques du réseau résultant pourraient se déduire géometriquement de celles des réseaux composants. Mais il n'en est pas ainsi; la combinaison des deux réseaux 1 et 3 est accompagnée d'une déformation qui les rapproche l'un de l'autre. Cette déformation modifie les constantes optiques..... De légères altérations des axes horizontaux suffiront donc pour que l'axe vertical qui était le plus petit devienne le plus grand, et réciproquement. Les cristaux qui sont négatif le sont d'ailleurs très-peu énergiquement.«

Da wir in Gegensatz zu Mallard das Vorkommen von zweiaxigen Stellen in einem der Form nach quadratischen oder hexagonalen, oft z. Th. einaxigen Krystall nicht als beweisend dafür ansehen, dass der Krystall aus zweiaxigen

[1]) Z. Kr. V. p. 376.

Lamellen aufgebaut ist, so können wir uns auch in diesem Falle der Mallard'schen Annahme nicht anschliessen. Da die Form des Apophyllit quadratisch ist und das optische Verhalten mit dem anderer anomaler Krystalle Ähnlichkeit hat, so betrachten wir den Apophyllit als quadratisch und optisch anomal.

Die optischen Anomalien äussern sich im Apophyllit wieder so, als ob sie durch irgendwelche in bestimmten Richtungen wirkende Druck- oder Zugkräfte hervorgerufen würden. Diese Ansicht hat schon F. Klocke in Anschluss an das Referat über die Arbeit von Rumpf (9) ausgesprochen:

»Diese optische Viertheilung der Spaltungsblättchen mancher Apophyllite deutet Referent in folgender Weise: Die beiden verticalen Axenebenen des Krystalls sind durch je eine Wand normaler (einaxiger) Apophyllit-Substanz dargestellt, welche in den basischen Platten das schwarze Kreuz erzeugt. In jedem der vier Stücke, in welche der Krystall hierdurch zerfällt, findet ein (wahrscheinlich durch das Krystallwachsthum bedingter) Druck $\perp \infty P$ (110) statt, welcher die Stücke zweiaxig macht. Das optisch homogene Verhalten eines solchen Stückes zeigt, dass dieser Druck in jedem Punkte in demselben Sinne gleich gross ist; es handelt sich also um eine gleichförmige Compression im Sinne Neumann's. Hierbei ergiebt sich nicht ein Gebundensein der Doppelbrechung an den Ort, was sonst die durch Compression und Dilatation entstandene Doppelbrechung charakterisirt, sondern jedes Theilchen besitzt dieselbe Wirkung, d. h. die vier Stücke des Krystalls zwischen den oben gedachten Wänden verhalten sich wie Krystallindividuen.« (Hierzu ist zu bemerken, dass, wie Klocke später selbst gefunden hat (10) und wir oben hervorgehoben haben, die Stärke der Doppelbrechung in jedem Feld nicht gleichmässig ist, sondern wechselt und der Axenwinkel von innen nach aussen zunimmt. Die Bemerkungen können sich nur auf die einzelnen dünnen Schichten beziehen.)

»Der Versuch bestätigt, dass einaxiger, $\perp \infty P$ (110)[1]) gepresster Apophyllit zweiaxig wird und dass sich die Ebene der optischen Axen $\perp \infty P$ (110) einstellt«.

»Der erwähnte Druck $\perp \infty P$ (110) kann von Krystall zu Krystall grösser oder kleiner sein, was die Schwankungen des Axenwinkels, die beim Apophyllit sehr bedeutend sind, erklärt, und er kann ganz fehlen, in welchem letzteren Falle wir wieder zu den normalen einaxigen Apophylliten kommen.«

Später, als Klocke in Apophyllitkrystallen ein Gerüst entdeckt hatte (vergl. oben p. 300), meinte er, dass dieses wohl zu den Spannungserscheinungen in einer ursächlichen Beziehung stehe.

Dass die Anomalien im Apophyllit so wie Klocke annimmt entstanden sind, ist ja nicht unmöglich; dass dieser Annahme aber gewisse Bedenken entgegenstehen, habe ich in der Einleitung zu den durch Druck anomalen

1) Soll wohl heissen $\infty P \infty$ (100), denn ∞P (110) kommt kaum vor und ist nur sehr schwer anzuschleifen.

Krystallen (p. 155) hervorgehoben. Hierzu kommt noch, dass das Gerüst im ganzen doch nur selten zu beobachten ist, viel seltener als anomale Krystalle. Lässt man aber die Annahme gelten, so bleibt das Vorkommen von negativen Krystallen neben positiven immer noch unerklärt.

Alle im Apophyllit beobachteten optischen Erscheinungen finden eine befriedigende Erklärung, wenn man die Annahme einer isomorphen Mischung zulässt. Die eine Grundverbindung würde optisch positiv, die andere negativ sein; durch Mischung beider in verschiedenen Verhältnissen entstehen Krystalle, in denen die Stärke, oft auch der Charakter der Doppelbrechung schwankt. Und wie so oft durch isomorphe Beimischung optische Anomalien hervorgerufen werden, so sind auch hier die quadratischen Krystalle oft anomal zweiaxig. Die für diese anomalen Krystalle so charakteristische Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung haben wir an ihnen in demselben Grade vorgefunden wie am Vesuvian; in beiden Mineralien äussern sich die optischen Anomalien in ganz ähnlicher Weise, und in beiden ist nach unserer Ansicht die Ursache dieselbe, — die isomorphe Beimischung.

Scheelit.

Literatur.

1. A. Breithaupt. P. A. 121. p. 328. 1864.
2. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75.
3. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 18. 1867.

Die Krystalle von Scheelit sind nach den genannten Autoren häufig zweiaxig; der Axenwinkel ist klein und bleibt bei dem Erwärmen unverändert. Dispersion ist nicht zu beobachten.

Es ist sehr leicht möglich, dass diese Anomalien durch die isomorphe Beimischung von molybdänsaurem Kalk hervorgerufen werden, der bisher den Analytikern entgangen war, kürzlich aber von H. Traube[1]) aufgefunden ist.

Nach den von H. Traube ausgeführten Analysen enthalten sämmtliche untersuchten Scheelite der verschiedensten Vorkommnisse Molybdän, bald in sehr geringer, bald in sehr beträchtlicher Menge. Die Scheelitkrystalle von Zinnwald z. B. enthalten 1,92—8,23 % MoO_3, die von Altenberg 2,03 % MoO_3, die von Fürstenberg bei Schwarzenberg in Sachsen, von Schlaggenwald in Böhmen, aus dem Riesengrund bei Gr. Aupa in Böhmen u. a. deutlich Spuren von MoO_3, die von Traversella 0,76—1,62 % MoO_3 u. s. w.

Aus dem verschiedenen Molybdängehalt erklären sich zunächst die Winkelschwankungen des Scheelit. »Die Winkelschwankungen der Scheelitkrystalle desselben oder verschiedener Fundorte lassen sich ungezwungen durch den bisher unbemerkt gebliebenen Molybdängehalt erklären, ist doch z. B. der

1) Über den Molybdängehalt des Scheelits etc. N. Jb. VII. Beil.-Bd. p. 232—245. 1890.

Molybdängehalt des Vorkommens von Zinnwald sehr wechselnd, von 1,92% bis 8,23%. Es ist eine wohl bekannte Erscheinung, dass Mischkrystalle eine ungünstige Flächenbeschaffenheit besitzen, und eine mangelhafte Ausbildung der Flächen ist gerade bei den Scheelitkrystallen sehr häufig. Demgemäss zeigen die stark molybdänhaltigen Vorkommnisse von Zinnwald besonders oft unvollkommen ausgebildete Krystalle im Gegensatz zu den fast molybdänfreien Scheeliten vom Riesengrund und von Schwarzenberg.«

Die isomorphe Beimischung, welche zur mangelhaften Ausbildung der Flächen führt, ruft nach unserer Vermuthung auch die optischen Anomalien hervor. Der Beweis wäre durch Untersuchung von möglichst molybdänarmen und molybdänreichen Scheeliten zu erbringen. Zur Durchführung derselben fehlt mir das Material und die Zeit, da die Arbeit von Traube erst jetzt — Mitte November 1890 — erschienen ist.

Optische Anomalien durch isomorphe Beimischung in rhombischen Krystallen.

Schwefelsaures und chromsaures Natrium-Ammonium.

Literatur.

G. Wyrouboff. Sur la dispersion tournante de quelques substances orthorhombiques. Bull. min. V. p. 272—281. 1882.

Das schwefelsaure und chromsaure Natrium-Ammonium, $(Na.NH_4)SO_4 + 2aq.$ und $(Na.NH_4)CrO_4 + 2aq.$, krystallisirt rhombisch; die Krystalle beider Salze sind isomorph und dadurch bemerkenswerth, dass bei gleicher Aufstellung die Ebene der optischen Axen in den einen senkrecht ist zu der in den andern. In Mischkrystallen sind daher die Ebenen der optischen Axen für verschiedene Farben gekreuzt und sie müssten, wie in den reinen Salzen, in zwei aufeinander senkrechte Symmetrieebenen fallen, wenn beide Componenten, ohne eine Störung hervorzurufen, in den Krystall einträten. Dies ist aber, wie aus den Untersuchungen Wyrouboff's hervorgeht, nicht der Fall; in Mischkrystallen liegen die Axenebenen für verschiedene Farben nicht innerhalb der Symmetrie-Ebenen.

Die Mischkrystalle sind immer dünn tafelförmig nach $\infty\breve{P}\infty$ (010) und sind am Rande begrenzt von ∞P (110), $\bar{P}\infty$ (101) und $0P$ (001), ihr Umriss daher achtseitig. Mischkrystalle, welche wenigstens 10% des isomorphen Salzes beigemengt enthalten, verhalten sich im polarisirten Licht, nach $\infty\breve{P}\infty$ (010) betrachtet, nicht einheitlich, sondern zerfallen in ebensoviel Felder als Begrenzungsflächen vorhanden sind. »Die sich gegenüberliegenden Felder A und $A_{,,}$ B und $B_{,,}$ D und $D_{,}$ (vergl. Fig. 133, Taf. V) sind gleich gefärbt, nahezu auch die rechts und links sich entsprechenden und die drei mittleren C, $C_{,}$ und $C_{,,}$. Keines löscht bei einer bestimmten Stellung völlig aus, am meisten noch D und $D_{,}$, fast gar nicht C, $C_{,}$ und $C_{,,}$; die Ebenen der optischen Axen liegen

für die verschiedenen Farben bald parallel $0P(001)$, bald parallel $\infty\bar{P}\infty(100)$, bald in einer Zwischenlage; die Grösse des Axenwinkels schwankt, gekreuzte Dispersion mit erheblichen Störungen der Interferenzfigur ist deutlich in den Feldern C, C, und C,,. Im übrigen sind aber die optischen Erscheinungen verschiedener Platten sehr wenig constant.... am constantesten ist in allen Platten der Mischkrystalle die unvollkommene Auslöschung; sie erscheint, zuerst in den mittleren Feldern, auch wenn das eine Salz stark überwiegt (bis zu 90%), dabei sind die optischen Axen noch überall gleich orientirt, entweder wie im Sulfat oder wie im Chromat; bei zunehmender Ausgleichung der verschiedenen Mischungen tritt dann eine Änderung der Lage der Axenebene ein, zuerst in den mittleren Feldern C, C, und C,,, dann auch in den seitlichen, endlich erscheint in den mittleren Theilen auch gekreuzte Dispersion.« (Nach dem Referat von O. Mügge im N. Jb. 1884, I. 5.)

Das Auftreten von Feldertheilung und gekreuzter Dispersion will Wyrouboff in ähnlicher Weise erklären, wie es Mallard für Prehnit (vergl. oben p. 71) gethan hat, obwohl die für das Zustandekommen jener Erscheinungen nothwendigen Bedingungen nur zum Theil erfüllt sind. »Da hier durch die Winkelverhältnisse der Krystalle die Annahme vier- oder sechszähliger Pseudosymmetrieaxen durchaus ausgeschlossen ist, nimmt Wyrouboff an, dass eine sehr grosse Anzahl von nach $\infty\breve{P}\infty(010)$ tafelartigen Krystallplatten über einander gelagert sind, von welchen je eine grössere und zwei kleinere nach einer Fläche $\bar{P}\infty(101)$ in Zwillingsstellung so verwachsen und begrenzt sind, dass sie sich in der Mitte dreifach, in dem grösseren Theil des Randes zweifach und einem kleineren Theil desselben gar nicht überlagern, und zeigt dann, dass die letzteren, welche am exactesten auslöschen müssen, auch ihrer Begrenzung nach mit den Feldern D und D, zusammenfallen müssen, dass ebenso die Stellen, wo zwei Platten über einander liegen, den Feldern A, A, und B, B, mit mittlerer Schärfe der Auslöschung, dass endlich die Stellen mit drei über einander gelagerten Platten verschiedener optischer Orientirung den Feldern C, C, und C,, den Umrissen und der höchst unvollständigen Auslöschung nach entsprechen. Die oft wenig regelmässige Grenzlinie der Felder wird durch Übergreifen der Platten verschiedener optischer Orientirung erklärt, ferner wird die Mannigfaltigkeit der Begrenzung der einzelnen Felder noch dadurch erhöht, dass an jeder Krystallplatte ausser den gewöhnlichen Formen auch noch andere von einfachem Index auftreten können.

»Hinsichtlich der ganzen Methode der Erklärung hebt Wyrouboff am Eingang seines Aufsatzes mit Recht hervor, dass sie die optischen Eigenschaften eines jeden einzelnen Feldes wohl zu erklären gestattet, aber keinen Aufschluss darüber giebt, weder weshalb überhaupt statt eines einheitlichen Krystalls mit überall gleichen optischen Eigenschaften verschiedene Felder entstehen, noch weshalb diese sich stets in derselben Weise zu einem geometrisch einfachen Individuum aggregiren; dem Referenten scheint dies bei

den ziemlich willkürlichen Annahmen über die Begrenzung und Grösse der einzelnen verzwillingten Individuen für das letztbesprochene Salz in erhöhtem Grade zuzutreffen.«

Diese von O. Mügge geäusserten Bedenken theilen auch wir; wir halten es nicht für wahrscheinlich, dass die Anomalien durch eine Kreuzung von verschieden orientirten Lamellen entstanden seien, sondern sind der Ansicht, dass sie durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen werden in derselben Weise, wie die Anomalien in quadratischen, hexagonalen und regulären Krystallen.

Der für die durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle charakteristischen Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung begegnen wir auch hier: die Zahl der Felder entspricht der Zahl der äusseren Flächen. Wir haben ferner namentlich an regulären Krystallen feststellen können, dass das optische Verhalten nach krystallographisch verschiedenen Flächen verschieden sein kann, nach einer Pyritoëderfläche bei Bleinitrat z. B. anders ist als nach einer Octaëderfläche. Auch dies finden wir hier wieder: die von krystallographisch gleichen Flächen ausgehenden Felder verhalten sich unter einander gleich, aber anders als die, welche von den andern Flächen ausgehen. Die vier von den Domenflächen ausgehenden Felder A und B verhalten sich unter einander gleich, aber verschieden von denen, welche von der Basis oder dem Prisma ausgehen, und ebenso sind die Felder D, welche von der Basis ausgehen, unter einander gleich, aber von denen verschieden, welche vom Prisma ausgehen.

Ähnlich wie die Mischkrystalle dieser Salze verhalten sich nach Wyrouboff (l. c.) die

Seignettesalze.

In den rhombischen Krystallen des Kalium- und Ammonium-Seignettesalzes liegen die Ebenen der optischen Axen wieder in zwei auf einander senkrechten Ebenen, so dass sie in Mischkrystallen, $(K, NH_4) Na H_4 C_4 O_6 + 4 aq$, beider für verschiedene Farben des Spectrums gekreuzt sein können.

Die in den Mischkrystallen auftretenden Anomalien sind nach Wyrouboff ganz ähnlich denen in den eben beschriebenen Salzen, nur ist die Zahl der optisch verschieden orientirten Felder auf $0P(001)$ entsprechend der grösseren Seitenzahl des begrenzenden Polygons eine so grosse, das er erst später auf ihre Beschreibung und Erklärung einzugehen gedenkt.

Für uns ist die vermehrte Zahl der Felder nichts auffallendes, wir erkennen darin wieder die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung, und da wir dies als eine charakteristische Eigenschaft der durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle kennen gelernt haben und diese Seignettesalze isomorphe Mischungen sind, so schliessen wir, dass eben durch die isomorphe Beimischung die Anomalien hervorgerufen werden.

Topas.

Literatur.

1. D. Brewster. Trans. of the Cambridge Phil. Soc. 1822 und G. A. Bd. 69 (9). p. 169. 1821.

2. —— Ed. J. V. p. 1—8. 1821 und G. A. Bd. 69 (9). p. 157—167. 1821.

3. Biot. Journal de Physique, Janv. 1821 und G. A. Bd. 69 (9). p. 23. 1821.

4. A. Des Cloizeaux. Manuel, p. 474. 1862.

5. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 240.

6. E. Mallard. Anomal. opt. p. 155—156. 1876.

7. C. Friedel und J. Curie. Über die Pyroëlektricität des Topases. C. r. 1885, 100. p. 213. Bull. min. VIII. p. 16.

8. H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. II. Aufl. p. 385. 1885.

9. K. Mack. Pyroëlektrische und optische Beobachtungen am brasilianer Topas. W. A. 28. p. 153—167. 1886.

Brewster kannte schon recht gut das abweichende optische Verhalten des Topases, namentlich hatte er gefunden, dass in dem gelben brasilianer Topas die eine optische Axe unter einem Winkel von 22° 37′, die andere unter 27° 28′ gegen die Verticalaxe geneigt ist und dass in den Topaskrystallen von verschiedenen Fundorten die Grösse des Axenwinkels sehr verschieden ist. Seiner Annahme, dass diese Verschiedenheiten mit einem verschiedenen Gehalt an Fluor zusammenhängen, wird auch heute noch von vielen Seiten zugestimmt.

Am ausgeprägtesten finden sich die Anomalien in dem gelben Topas von Brasilien; Krystalle von andern Fundorten verhalten sich oft ganz normal, die gelben brasilianer sind immer anomal und im ganzen unter einander nur unwesentlich verschieden. Das Verhalten dieser hat H. Rosenbusch (8) in Übereinstimmung mit Des Cloizeaux, Mallard und Friedel und Curie wie folgt beschrieben:

»Dünne Platten nach der Spaltbarkeit zerfallen im parallelen polarisirten Licht in mehrere Felder; das Centrum derselben ist ein Rhombus, mit den Winkeln des Topasprismas, an jede Seite dieses Rhombus legt sich ein Trapez. Das centrale Feld ist bald einheitlich und besitzt die normalen Auslöschungen parallel den Diagonalen, oder es zeigt seinerseits einen Zerfall in mehrere Felder, beziehungsweise sich kreuzende Lamellen mit einer allenthalben geringen Schiefe der Auslöschung (3°—5°) nach links und rechts von den Diagonalen. Die randlichen Trapeze löschen mit wechselnder Schiefe gegen die Diagonalen (bis zu 20°) des centralen Rhombus aus. Allenthalben erhält man im convergenten Licht die Interferenzfigur zweiaxiger, senkrecht zur spitzen Bisectrix geschnittener Krystalle mit einer durch die Auslöschungsrichtungen gegebenen Lage der Axenebenen und oft stark mit dem Ort wechselnder Grösse des Axenwinkels. . . . . Auch die gesteinsbildenden Topase lassen, wenn auch in geringer Intensität, bisweilen diese Anomalien beobachten.«

Weitere Beobachtungen und genauere Messungen des optischen Axenwinkels und der Neigungen der optischen Axen zur Plattennormale verdanken wir K. Mack.

Er hat zunächst durch die pyroëlektrischen, nach dem Kundt'schen Verfahren angestellten Versuche gefunden, dass die Anordnung des Pulvers mehr oder weniger regelmässig nach den Grenzen der optisch verschiedenen Felder erfolgt, so dass ein gewisser Zusammenhang zwischen dem optischen Verhalten und der elektrischen Erregung nicht zu verkennen ist. Er fasst das Resultat dahin zusammen: »dass der brasilianische Topas in jedem seiner optisch verschieden orientirten Felder eine einzige elektrische Axe besitzt, welche im allgemeinen mit keiner krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt. In je zwei Feldern, welche symmetrisch zu einer der beiden Rhombusdiagonalen liegen, verlaufen auch die elektrischen Axen symmetrisch.«

Ebenso wenig wie die elektrische Axe fällt eine der optischen Elasticitätsaxen mit der krystallographischen Verticalaxe zusammen, wie schon aus den Beobachtungen Brewster's hervorgeht und von Mack direct bewiesen werden konnte. Er fand nämlich in Platten parallel der Verticalaxe eine von der Axe um 2°—3° abweichende Auslöschungsrichtung. In Übereinstimmung hiermit steht die bereits von Brewster gemachte Beobachtung, dass im Krystall die optischen Axen gegen die Verticalaxe verschieden geneigt sind. K. Mack theilt hierüber folgendes mit:

Für den scheinbaren Winkel $2E$ der optischen Axen und die Winkel E_1 und E_2, welche je eine Axe mit der Plattennormale bildet, ergaben sich bei einer Platte für Na-Licht folgende Werthe:

$$2E = 93^\circ 57', \quad E_1 = 51^\circ 23', \quad E_2 = 42^\circ 34'.$$

Nimmt man für den mittleren Brechungsexponenten den angenähert richtigen Werth 1,6, so erhält man für die Winkel V_1 und V_2, welche die Axen im Krystall mit der Plattennormale einschliessen, und den wahren Axenwinkel $2V$ die genäherten Angaben:

$$2V = 54^\circ 45', \quad V_1 = 29^\circ 44', \quad V_2 = 25^\circ 1'.$$

Die Abweichung der Mittellinie dieses Winkels $2V$ von der Plattennormale ist nahe 2°, d. h. von derselben Grösse, wie die Abweichung der Auslöschungsrichtung von der Säulenaxe, welche in einer dem brachydiagonalen Hauptschnitt dieses Krystalls parallelen Platte erhalten worden war.

In einer Platte aus einem andern Krystall wurde gemessen

$$2E = 83^\circ 37', \quad E_1 = 47^\circ 47', \quad E_2 = 35^\circ 50'.$$

Berechnet man hieraus die Winkel innerhalb des Krystalls, so findet man annäherungsweise:

$$V_1 - V = V - V_2 = 3^\circ,$$

welcher Werth wiederum mit der an einer andern Platte gefundenen Abweichung der Auslöschungsrichtung von der Säulenaxe übereinstimmt.

Zur Ergänzung gebe ich nun noch die Beschreibung und Abbildung (Fig. 134, Taf. V) einer Platte parallel der Basis eines brasilianer Topases, die ich aus einer grösseren Zahl von Präparaten ausgesucht habe.

Die äussere Begrenzung wird von den beiden Prismen $\infty P(110)$ und $\infty \breve{P}2(120)$ gebildet, deren Flächen stark vertical gestreift sind. Der Umriss der basischen Platte ist ein Rhombus, dessen Seiten schwach gebrochen, fast gerundet erscheinen und dessen Winkel 124° 17′ und 93° 11′ betragen.

Schon im gewöhnlichen durchfallenden Licht sieht man, dass in der Krystallmasse ein kleines rhombisches Mittelfeld sich schwach abhebt. Im parallelen polarisirten Licht tritt die Feldertheilung sehr schön hervor; man unterscheidet im ganzen elf Felder.

In der Mitte liegt ein kleines rhombisches Feld, welches homogen erscheint und in der Richtung der Diagonalen auslöscht. Es ist der Durchschnitt durch den Kern des Krystalls.

Hierauf folgen vier bezw. sechs Felder, von denen jedes in sich einheitlich ist und die zusammen den Durchschnitt durch den Krystall in einer späteren Periode des Wachsthums darstellen. Die an der Axe *b* liegenden Ecken sind schmal abgestumpft, woraus wir sehen, dass in dieser Periode auch das Brachypinakoid $\infty \breve{P} \infty (010)$ vorhanden war. Die vier Felder, welche von den Prismenflächen ausgehen, werden durch gerade ($\| b$) oder gebrochene ($\| a$) in der Richtung der Diagonalen verlaufende Linien getrennt. Je zwei gegenüberliegende Felder löschen gleichzeitig aus, zwei an einer Diagonale zusammenstossende Felder löschen verschieden, aber zur Diagonale symmetrisch aus; ihre Auslöschungsschiefe beträgt etwa 4°. Die beiden andern Felder gehen von dem Brachypinakoid aus und besitzen gerade Auslöschung.

Die Randzone des ganzen Durchschnitts wird von vier Feldern gebildet, deren äussere Begrenzung der des inneren grossen Rhombus parallel ist. Die Auslöschung erfolgt schief zu den Diagonalen, der Winkel der Auslöschungsschiefe ist grösser als in den Feldern des inneren Rhombus und nimmt von innen nach aussen zu (von ca. 16°—20°), so dass das ganze Feld niemals in seiner ganzen Ausdehnung dunkel wird. Interessant sind die Verhältnisse an den Ecken, welche im inneren Rhombus durch das Brachypinakoid abgestumpft waren; diese Fläche fehlt aussen und man sieht deutlich, dass sie allmählich dadurch verschwunden ist, dass von links und rechts die Prismenflächen[1]) über sie hinaus gewachsen sind; denn von jeder der beiden Pinakoidflächen im Innern

---

[1]) Manchen Beobachtern ist es aufgefallen, dass das Brachypinakoid nur einseitig auftritt (vergl. Grünhut, Z. Kr. IX. p. 157). Die Erklärung hierfür scheint mir einfach: das Pinakoid war in einer früheren Periode des Wachsthums vorhanden und ist später durch Vergrösserung der Prismenflächen wieder verschwunden. Wenn nun der Krystall nach der einen Seite schneller gewachsen war, als nach der andern, so konnte es leicht kommen, dass auf der einen Seite das Pinakoid schon überwachsen war, auf der andern noch nicht.

geht ein keilförmiger Zwickel nach aussen, der in Gegensatz zu den andern Feldern gestreift erscheint, ein Theil der Streifen löscht mit der einen Prismenfläche, der andere mit der zweiten aus. Das Verhalten erinnert sehr an das, welches wir an den Mischkrystallen von Blei- und Baryumnitrat in den von den Würfelflächen ausgehenden Feldern kennen gelernt haben (vergl. p. 221 und Figur 70).

In dem Verhalten dieses Schliffes erkennen wir wieder deutlich, dass die optische Structur von der äusseren Begrenzung abhängt und sich mit dieser ändert. Dies und die chemische Zusammensetzung sind die Stützen für unsere Annahme, dass die Anomalien durch isomorphe Beimischung hervorgerufen werden.

Über die chemische Zusammensetzung des Topases spricht sich C. Hintze in dem Handbuch der Mineralogie p. 114 wie folgt aus: »Groth (Tabell. Übers. 1882, p. 85) fasste den Topas, in Anbetracht der Analogie mit Andalusit in Bezug auf eine gewisse Ähnlichkeit der Krystallform und die bei beiden vorkommende Umwandlung in Muscovit, als eine isomorphe Mischung des Andalusitsilicats $Al(AlO)SiO_4$ mit der entsprechenden Fluorverbindung $Al(AlFl_2)SiO_4$ auf. Die Schwankungen im Fluorgehalt bei den Analysen beweisen jedenfalls, dass im Topas eine Mischung vorliegt. Die Verschiedenheit der Mischung verursacht vielleicht auch die Schwankungen der Krystallwinkel.« Sie verursacht wahrscheinlich auch, wie schon Brewster vermuthet hatte, die Schwankungen im Winkel der optischen Axen, und die isomorphe Beimischung überhaupt verursacht nach unserer Annahme die optischen Anomalien des Topases.

Auf die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung, welche für die durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle charakteristisch ist, haben wir bereits hingewiesen. Abweichend von dem, was wir nach dem an andern Krystallen beobachteten erwarten, ist hier die Erscheinung, dass die erste Mittellinie in den von den Prismenflächen ausgehenden Feldern nicht senkrecht zur Basis ist. Wir haben oben hervorgehoben, dass im allgemeinen das optische Verhalten nach einer Fläche der geometrischen Symmetrie dieser entspricht; ein Schliff parallel einer Fläche aus der Prismenzone des Topases müsste daher gerade Auslöschung zeigen, da eine Symmetrieebene senkrecht zur Prismenzone ist; statt dessen besitzt er eine Auslöschungsschiefe von 2—3 Grad. Dass die Prismenschliffe schiefe Auslöschung besitzen, hängt vielleicht zum Theil mit der unvollkommenen krystallographischen Beschaffenheit des Topases zusammen; schon in dem verhältnissmässig gut ausgebildeten russischen Topas ist die Basis nicht senkrecht zur Prismenzone, Grünhut (Z. Kr. IX. p. 147) fand den Winkel $0P(001) : \infty\breve{P}\infty\,(010) = 90^\circ 36'$ und $0P(001) : \infty P(110) = 89^\circ 38'$. Der braungelbe Topas von Brasilien ist nach Grünhut noch viel schlechter gebildet: »In der meist gerundeten Prismenzone kann selbst bei den best ausgebildeten Krystallen nur von Schimmerablesungen die Rede sein, das Brachydoma $\frac{2}{3}\breve{P}\infty$, sofern es ausgebildet ist, ist gleichfalls selten eben genug, um eine hinreichend genaue Bestimmung des Winkel-

werthes seiner Kante zuzulassen. So ist man einzig und allein auf die Messungen der Pyramidenpolkanten angewiesen, allein auch hier gelangt man zu keinen sehr genauen Resultaten, indem die Pyramidenflächen, welche meist schon dem unbewaffneten Auge geknickt erscheinen, fast immer mehrfache Reflexe liefern.« Grünhut ist sogar geneigt, überhaupt die optischen Anomalien des Topases auf Verwachsung mehrerer Individuen zurückzuführen. Anknüpfend an die Beobachtung, dass ein Krystall von Ehrenfriedersdorf aus zwei in paralleler Stellung verwachsenen Krystallen besteht, wirft er die Frage auf: »Sollte das Vorkommen derartiger Verwachsungen nicht darauf hinweisen, dass jene Topas-»Individuen«, die sich durch ihr ungewöhnliches optisches Verhalten auszeichnen, in ähnlicher Weise durch Aggregation mehrerer Einzelkrystalle entstanden sind?«

Wenn mehrere Individuen genau parallel verwachsen, muss sich der Gesammtkrystall doch optisch homogen verhalten, da alle gleichnamigen optischen Elasticitätsaxen parallel sind. Durch hypoparallele Verwachsung können die optischen Erscheinungen gestört werden, die grosse Constanz der Anomalien im brasilianischen Topas lässt es aber sehr unwahrscheinlich erscheinen, dass dies die einzige Ursache der Anomalien sei; auch ist die Abweichung der ersten Mittellinie aus der Richtung der krystallographischen Verticalaxe viel grösser als die Winkelschiefe der Flächen [$0P(001) : \infty P(110)$][1]). Die Hauptursache der Anomalien ist eine andere; wie wir annehmen, ist es die isomorphe Beimischung, welche die Schwankungen im Winkel der optischen Axen und die optischen Anomalien des Topases hervorruft, und jene Abweichung beruht auf secundären Störungen, deren Ursache nicht weiter bekannt ist.

Zusammenfassung der Resultate für die durch isomorphe Beimischung anomalen, nicht regulären Krystalle.

Durch Betrachtung der regulären, durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle hatten wir gefunden, dass das optische Verhalten nach einer Fläche von der geometrischen Symmetrie dieser abhängt. Wir wollen sehen, wie weit dies für die Krystalle der andern Systeme gilt.

In dem quadratischen System hat jede Fläche der Prismen $\infty P(110)$ und $\infty P\infty(100)$ geometrisch den Charakter eines Pinakoids im rhombischen System, denn zwei unter 90° sich schneidende Symmetrie-Ebenen gehen über jede hin. Die Basis behält ihren Charakter bei. Wenn daher das optische Verhalten nach einer Fläche der geometrischen Symmetrie dieser entsprechen soll, so müsste eine Platte parallel der Basis aus einem von $0P(001)$, $\infty P(110)$ und $\infty P\infty(100)$ begrenzten Krystall einaxig in dem Bezirk der Basis, zweiaxig aber in den von den Prismenflächen ausgehenden Feldern sein; die Ebene der

[1]) Ich habe an einem Spaltblättchen des gelben Topases von Brasilien, welches die beschriebenen Anomalien zeigte, den Winkel von der Spaltfläche $0P(001) : \infty P(110) = 90° 5\frac{1}{2}'$ gefunden. Die Abweichung der ersten Mittellinie von der krystallographischen Verticalaxe beträgt aber 2°—3°.

optischen Axen müsste in jedem Feld parallel oder senkrecht zur Prismenfläche sein. An Vesuvian und Apophyllit haben wir dies Verhalten getroffen. Die Pyramidenflächen $mP(hhl)$ und $mP\infty(h0l)$ haben den Charakter von Domenflächen; die von ihnen ausgehenden Felder müssten ebenfalls gerade Auslöschung zeigen, was auch der Fall ist. Von achtseitigen Prismen auf der Basis ausgehende Felder würden auch schiefe Auslöschung zeigen können.

Die hexagonalen Krystalle müssten sich analog verhalten; die von den sechsseitigen Prismen $\infty P(10\bar{1}0)$ und $\infty P2(11\bar{2}0)$ auf der Basis ausgehenden Felder müssten zweiaxig mit gerader Auslöschung sein, die von den Pyramidenflächen ausgehenden Felder ebenfalls gerade Auslöschung besitzen, die von den zwölfseitigen Prismenflächen ausgehenden Felder könnten schiefe Auslöschung haben. Ein hiervon abweichendes Verhalten haben wir in den unterschwefelsauren Salzen und dem Apatit kennen gelernt; bei ihnen ist die Ebene der optischen Axen in den auf der Basis von den Prismen- bezw. Rhomboëderflächen ausgehenden Feldern schief zu diesen Flächen. Die Prismenflächen dieser Krystalle haben aber auch nicht mehr den Charakter von rhombischen Pinakoiden, die Rhomboëderflächen nicht den von rhombischen Domen, sondern diese Flächen sind am trapezoëdrisch-tetartoëdrischen unterschwefelsauren Blei asymmetrisch, am pyramidal-hemiëdrischen Apatit monosymmetrisch, eine Prismenfläche hat den Charakter einer Orthodomenfläche. Die von solchen Flächen auf der Basis ausgehenden Felder würden schiefe Auslöschung besitzen können wie das Klinopinakoid. Ein Beispiel hierfür finden wir jetzt an rhombischen Krystallen.

Im rhombischen System hat jede Prismenfläche geometrisch den Charakter einer Fläche aus der Zone der Orthodomen im monoklinen System, denn senkrecht zu jeder Prismenfläche ist eine Symmetrie-Ebene; die Pinakoide behalten ihren Charakter, die Pyramidenflächen haben keine Symmetrie-Ebene.

Betrachten wir nun eine Platte senkrecht zur ersten Mittellinie aus einem durch isomorphe Beimischung anomalen Krystall, der von zwei Pinakoiden $0P(001)$ und $\infty\breve{P}\infty(010)$ und dem Prisma $\infty P(110)$ begrenzt sein möge und in dem die erste Mittellinie normal zu $0P(001)$ sei, so erwarten wir folgendes Verhalten:

In dem von der Basis etwa ausgehenden Mittelfeld, sowie in den beiden von $\infty\breve{P}\infty(010$ und $0\bar{1}0)$ ausgehenden Feldern würden wir gerade Auslöschung erwarten. Die von den Prismenflächen aber ausgehenden Felder haben den Charakter des Klinopinakoids, denn sie sind senkrecht zu Prismenflächen, welche den Charakter von Orthodomenflächen haben; in diesen Feldern würden wir schiefe Auslöschung erwarten und gekreuzte Dispersion. In dem schwefelsauren und chromsauren Natrium-Ammonium und den Seignettesalzen haben wir dies in der That gefunden. Die erste Mittellinie müsste auch hier senkrecht zum Pinakoid sein, wie sie in monoklinen Krystallen senkrecht zum Klinopinakoid ist. In den beiden genannten Beispielen haben wir auch dies gefunden. Ebenso wie diese zeigt der Topas gerade Auslöschung in den von den Pinakoidflächen ausgehenden Feldern und schiefe Auslöschung in den Feldern, welche von Prismenflächen ausgehen. Abweichend von ihnen und entgegen dem, was wir erwarten, ist die erste Mittellinie nicht genau normal zur

Plattenebene. Dies hängt vielleicht zum Theil damit zusammen, dass gerade an Topas die Flächen aus ihrer normalen Lage abweichen; die, welche parallel sein sollten, sind es nicht.

Im allgemeinen finden wir also auch an den Krystallen dieser Systeme bestätigt, was wir für die regulären gefunden hatten, und es gewinnt hierdurch unsere Annahme an Wahrscheinlichkeit, dass **in den durch isomorphe Beimischung anomalen Krystallen durch die Beimischung gewisse Druck- oder Zugkräfte auftreten, welche in den zu vorhandenen Krystallflächen gehörenden Anwachskegeln wirksam sind und nach der Symmetrie dieser Flächen das optische Verhalten in dem Bezirk der zugehörigen Anwachskegel ändern.**

V. Optische Anomalien durch Wasserverlust.

Die zahlreichen in den letzten Jahren angestellten Beobachtungen, welche uns mit den Veränderungen bekannt gemacht haben, welche die optischen Eigenschaften vieler wasserfreier und wasserhaltiger (Literatur bei Analcim, Heulandit) Krystalle bei höherer Temperatur erleiden, haben vielfach zu der Vermuthung Veranlassung gegeben, dass die optischen Anomalien wasserhaltiger Krystalle durch Wasserverlust entstanden seien. Hauptstütze für diese Annahme ist die Thatsache, dass in solchen Krystallen durch absichtlich herbeigeführten Wasserverlust Anomalien hervorgerufen oder vorhandene verstärkt werden können. Wenn diese Annahme richtig wäre, müssten die anomalen Krystalle wasserärmer sein, als die normalen derselben Substanz. Die vorhandenen Analysen stehen dem aber z. Th. entgegen (vergl. Analcim p. 326). Da aber, wo die anomale Substanz in der That wasserärmer ist als die normale, muss man eigentlich von Pseudomorphosen von jener nach dieser reden und diese Fälle von den Anomalien ausschliessen. Aber auch wenn man hier eine gewisse Milde walten lässt und geneigt ist, durch Wasserverlust anomale Krystalle anfzunehmen, so wird man zur Zeit kein krystallisirtes Mineral finden, das mit Sicherheit hierher gestellt werden könnte.

Sicher dagegen sind Anomalien durch Wasserverlust bei amorphen Substanzen entstanden. Wenn einfachbrechende Gelatinegallerte eintrocknet, so verliert sie Wasser und das Volumen wird kleiner und zwar, so lange die kleinsten Theilchen noch genügend Beweglichkeit besitzen, ohne irgend eine weitere Störung. Wenn aber die Masse fester wird, kann sie sich nicht mehr in der Weise contrahiren, wie der Wasserverlust es verlangt, das Volumen ist grösser als es der Masse entspricht, die Masse ist wie auseinander gezogen, sie ist gespannt und in Folge dessen doppelbrechend geworden. Ebenso kann die Doppelbrechung amorpher Mineralien, wie Hyalith, Webskyit u. a. sehr wohl durch Wasserverlust entstanden sein. Die amorphen Mineralien unterscheiden sich aber von den Krystallen sehr wesentlich dadurch, dass ihr Wassergehalt nicht constant zu sein braucht; es sind ge-

wissermassen colloidale Massen, die ebenso wie Gelatine Wasser verlieren und hierdurch doppelbrechend werden können, ohne dass sie in ihren andern Eigenschaften Änderungen erleiden. Die wasserhaltigen Krystalle dagegen enthalten, sobald sie fertig gebildet sind, eine gewisse Menge Wasser, und sind nicht mehr das, was sie waren, wenn das Wasser ganz oder zum Theil verloren gegangen ist. Ist das Wasser vollständig verloren gegangen, so liegt eine echte Pseudomorphose vor und die optischen Eigenschaften der wasserfreien Verbindung sind andere wie die der ursprünglichen[1]). Ist das Wasser nur zum Theil verloren, so muss man doch annehmen, dass sich der Verlust nicht auf alle Moleküle erstreckt, sondern nur auf einzelne und diese in eine wasserärmere oder wasserfreie Verbindung übergangen sind. Wie das optische Verhalten eines solchen aus zwei, durch ihren Wassergehalt verschiedenen Verbindungen bestehenden Krystalls sein wird, kann man nicht voraussagen. Die Möglichkeit, dass das eine oder andere Mineral (Analcim, Chabasit, vergl. bei diesen) hier seinen Platz hat, muss man zugehen, zugleich aber auch dies, dass die Anomalien auch auf etwas anderem als Wasserverlust beruhen können.

Es herrscht also bezüglich der Anomalien der wasserhaltigen Krystalle noch um einen Grad grössere Unsicherheit, als bei den wasserfreien Krystallen, wenn es sich darum handelt, die Anomalien auf eine bestimmte Ursache zurückzuführen. Wir haben keins der bekannten anomalen krystallisirten Mineralien hierher gestellt, weil andere Ursachen uns wahrscheinlicher schienen (Chabasit), oder die Ursache überhaupt noch weniger sicher bekannt ist (Analcim).

Von Kunstproducten betrachten wir hier Strychninsulfat, das in mehr als einer Hinsicht unser Interesse in Anspruch nimmt.

Strychninsulfat.

Literatur.

1. G. Wyrouboff. Sur les phénomènes optiques du sulfate de strychnine. Bull. min. VII. p. 10—20. 1884.

2. —— Recherches sur la structure des corps cristallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. VI. Sér. T. VIII. p. 381—393. 1886.

3. J. Martin. Beiträge zur Kenntniss der optischen Anomalien einaxiger Krystalle. Diss. Göttingen 1890, und N. Jb. VII. Beilage-Bd. p. 41—54. 1890.

4. G. Wyrouboff. Quelques mots de réponse à M. Johannes Martin. Bull. min. XIII. p. 94—100.

Das schwefelsaure Strychnin — $(C_{21}H_{22}N_2O_2)_2 . H_2SO_4$ — krystallisirt mit verschiedenem Wassergehalt in verschiedenen Systemen, und zwar ist nach den Untersuchungen von Rammelsberg[2]) das Salz mit fünf Molekülen Wasser

[1]) Vergl. F. Rinne, Über die Umänderungen, welche die Zeolithe durch Erwärmen bei und nach dem Trübewerden erfahren. Sitzungsber. der K. Pr. Akad. d. Wissensch. Sitzg. v. 13. XI. 1890. XLVI.

[2]) Ber. d. d. chem. Ges. 1884. p. 1231, und Handbuch d. kryst.-phys. Chemie 1882, II. p. 438.

monoklin-hemiëdrisch, das mit sechs Molekülen Wasser quadratisch; das erstere enthält 10,51 % H_2O, das andere 12,36 %; gefunden hat Rammelsberg im ersteren 10,82 %, im andern 12,77 % H_2O.

Rammelsberg hat das Salz mit fünf Molekülen Wasser durch Abkühlen der heiss gesättigten Flüssigkeit, das Salz mit sechs Molekülen Wasser durch freiwilliges Verdunsten der Lösung bei gewöhnlicher Temperatur erhalten. Nach den Angaben von Lextreit[1]) soll aus einer wässerigen Lösung über 50° und aus einer alkoholischen Lösung bei jeder Temperatur das Salz mit fünf Molekülen Wasser, aus einer wässerigen Lösung unter 50° aber das Salz mit sechs Molekülen Wasser krystallisiren.

Nach meinen Beobachtungen ist nicht nur die Temperatur, sondern auch die Concentration der Lösung von entscheidendem Einfluss auf den Wassergehalt der sich bildenden Krystalle; beide Arten können sich bei gewöhnlicher Zimmertemperatur bilden, das Salz krystallisirt mit fünf Molekülen Wasser aus concentrirter Lösung, mit sechs Molekülen Wasser aus verdünnter Lösung. Wenn man einige Nadeln von dem Salz mit fünf Molekülen Wasser auf einem Objectträger löst und den Tropfen Wasser ruhig über den Nadeln stehen lässt, so dass die Lösung recht langsam vor sich geht, so kann man einen interessanten Vorgang sich abspielen sehen: das monokline Salz ist stark doppelbrechend und erscheint bei gekreuzten Nicols in grellen Interferenzfarben; während man das sich lösende Kryställchen noch beobachtet, sieht man aus demselben rings herum kleine quadratische Täfelchen hervorwachsen, welche zum Unterschied gegen den Krystall im Innern gar nicht auf das parallele polarisirte Licht einwirken, sie scheinen einfachbrechend zu sein. Mit der Zeit nimmt die Masse der Täfelchen immer mehr zu, und je zahlreicher und grösser sie werden, desto kleiner wird die Krystallnadel im Innern. Schliesslich sieht man im Innern nur noch kleine, lebhaft polarisirende Fetzen, die einzig durch gleichzeitige Auslöschung ihre ehemalige Zusammengehörigkeit andeuten. Zuletzt verschwinden auch diese und statt des zuerst vorhandenen Krystallsplitters sieht man nun ein Aggregat quadratischer Täfelchen vor sich. Die Prüfung im convergenten Licht lässt diese als einaxig erkennen, es sind Krystalle des Salzes mit sechs Molekülen Wasser. Erst wenn das Lösungsmittel noch weiter einwirkt, lösen sich auch diese. Das Salz mit fünf Molekülen Wasser wird demnach nicht als solches gelöst, sondern erst in das mit sechs Molekülen Wasser übergeführt, welches nun seinerseits in Lösung geht. Den umgekehrten Vorgang kann man häufig bei dem Wachsen der Krystalle verfolgen. Zuerst scheiden sich aus der Lösung quadratische Tafeln des Salzes mit $6 H_2O$ aus, später auch die Nadeln des Salzes mit $5 H_2O$, welche dann oft an die quadratischen Krystalle regelmässig anwachsen, so dass sie senkrecht zu den Kanten stehen. Oft bleibt die quadratische Tafel in der Mitte erhalten, ebenso oft aber wird sie von den rechtwinklig sich durchkreuzenden Nadeln aufgezehrt und nur ein feines Gitter-

[1]) Journ. de Pharm. et de Ch. 1882 (5). T. VI. p. 259.

werk zeigt uns durch den erhalten gebliebenen Umriss ihre Stelle. Fügt man nun vorsichtig etwas Wasser hinzu, so kann man wieder sehen, wie die Nädelchen, ehe sie sich lösen, an ihrem Rande zu quadratischen Täfelchen auswachsen. Schon allein durch dies Verhalten nimmt das Salz unser Interesse in Anspruch.

Die Krystalle der beiden Salze lassen in ihrer Formenausbildung gewisse Beziehungen erkennen, worauf bereits Wyrouboff aufmerksam gemacht hat.

Die quadratischen Krystalle sind tafelig nach der Basis c und unter den Octaëdern herrscht $\frac{7}{2}P(772)$, dessen Flächen sich in den Seitenkanten unter einem Winkel von 155°54′ schneiden (nach Des Cloizeaux[1]). Das Axenverhältniss ist $a:c = 1:0{,}98$.

Die monoklinen Krystalle sind platte Nadeln, an denen die Fläche $a = \infty P\infty(100)$ vorherrscht; zwei Schiefendflächen schneiden sich unter 154°20′. Die Fläche a würde der Basis c an den quadratischen Krystallen, die beiden Schiefendflächen zwei in einer Seitenkante sich schneidenden Octaëderflächen entsprechen. Der Umriss der Fläche ist fast quadratisch, durch Hinzutritt einer hemiëdrisch auftretenden Pyramide wird eine Ecke fast gerade abgestumpft, der ebene Winkel der beiden Kanten auf a beträgt nach Wyrouboff 46°4′. Das Axenverhältniss des monoklinen Salzes ist:

$$a:b:c = 0{,}9482:1:0{,}8396;$$
$$\beta = 72^\circ 27'.$$

Die Axe $a = 0{,}9482$ entspricht der Lage nach der Axe $c = 0{,}98$ der quadratischen Krystalle.

Die Ebene der optischen Axen ist in den monoklinen Krystallen parallel der Axe b und macht mit der Normale auf Fläche a einen Winkel von 57°17′, die erste Mittellinie weicht also um diesen erheblichen Betrag von der Richtung der optischen Axe in den quadratischen Krystallen ab; wir werden in der That auch sehen, dass die optische Axe der quadratischen Krystalle mit $6H_2O$ nicht zur Richtung der ersten Mittellinie wird, wenn die Krystalle ein Molekül Wasser verlieren.

Die quadratischen Krystalle, mit denen speciell wir uns nun zu beschäftigen haben, besitzen die Eigenschaft der Circularpolarisation. Dieselbe Eigenschaft besitzt die Lösung des Salzes, es ist bis jetzt die einzige Verbindung, welche fest und gelöst circularpolarisirend ist. Krystalle wie Lösung drehen immer nach links. Das Drehvermögen ist nicht sehr stark, nach der Ermittlung[2] von Des Cloizeaux kann man annehmen, dass ein 1,52 mm dicker Krystall so stark wie 1 mm dicker Quarz dreht. Da nun die Kryställchen immer dünn sind — die dicksten sind 1—1,5 mm dick — so kann man im convergenten Licht die Circularpolarisation nicht mit Sicherheit erkennen, man müsste denn mehrere über einander legen. Wohl aber

---

[1]) P. A. 102. p. 476. 1857.

[2]) P. A. 102. p. 474. 1857 (aus C. r. 44. p. 909).

kann man dies im parallelen Licht, wie es Des Cloizeaux schon angiebt und ich bestätigen kann.

Da Wyrouboff später (2) behauptet hat, die einaxigen Krystalle wären »sans aucune trace de polarisation rotatoire«, sah ich mich um so mehr zu einer genauen Prüfung veranlasst, als er seine »Entdeckung« gleichsam als einen Sieg der neuen Methode über die alte feiert[1]); aber der alte Des Cloizeaux hat doch Recht.

Die von mir gezogenen und zur Untersuchung benutzten Krystalle waren etwa 1 mm dick, wasserhell und ohne irgend welche optische Anomalie. Im convergenten Licht blieb das schwarze Kreuz bei einer vollen Umdrehung des Präparates unverändert stehen, im parallelen Licht war nichts von Feldertheilung oder dergleichen zu bemerken. Auf Circularpolarisation wurden die Krystalle in Natriumlicht untersucht. Bei gekreuzten Nicols (im parallelen Licht) war der Krystall hell, er wurde aber dunkel, wenn das obere Nicol'sche um 9° nach links gedreht wurde. Drehte man nun zur Controle das obere Prisma aus der Nullstellung um ebensoviel nach rechts, so erschien der Krystall ganz hell. Es ist demnach gar keinem Zweifel unterworfen, dass das tetragonale Strychninsulfat circularpolarisirend ist und zwar linksdrehend, wie Des Cloizeaux gefunden hatte.

Der Charakter der Doppelbrechung ist negativ, die Brechungsexponenten sind $\omega = 1,6137$, $\varepsilon = 1,5988$ (nach Martin, 3).

Mit der Circularpolarisation der Krystalle stehen in Einklang gewisse durch Ätzung hervortretende Erscheinungen, welche auf trapezoëdrische Hemiëdrie deuten. Die durch Wasser oder Weingeist auf der Basis hervorgerufenen Ätzfiguren haben die Lage von Protopyramiden, durch Salzsäure dagegen entstehen auf der Basis schief zu den Kanten verlaufende Risse, aus denen H. Baumhauer[2]) auf trapezoëdrische Hemiëdrie schloss. Martin (3) hat die Angaben von Baumhauer nicht bestätigt gefunden, dagegen auf der Basis natürliche, gegen die Kanten schief liegende Vertiefungen beobachtet, die ihm die trapezoëdrische Hemiëdrie und zugleich den Sinn der Circularpolarisation andeuten.

Nach diesen von verschiedenen Beobachtern angestellten Untersuchungen ist es sicher, dass das tetragonale Strychninsulfat trapezoëdrisch-hemiëdrisch, normal einaxig und circularpolarisirend ist. Nachdem wir dies festgestellt haben, können wir zur Besprechung der von Wyrouboff und Martin beschriebenen optischen Anomalien übergehen.

1) (1) p. 11: »Il est permis de mettre l'erreur (von Des Cloizeaux) au compte de l'imperfection des anciens instruments et un peu aussi, il faut bien le dire, des anciennes théories sur les cristaux uniaxes ..... Présentement, grâce aux modifications si heureuses apportées au microscope, grâce aux beaux travaux de M. Mallard qui a donné une théorie simple, élégante et rationelle de ces apparentes irrégularités, il ne nous est plus permis de nous arrêter à l'examen superficiel du phénomène qui peut être, et qui est, dans le cas particulier dont il s'agit, une résultante accidentelle d'autres phénomènes. Il nous faut pousser l'analyse plus loin, et chercher les éléments qui composent cet ensemble, dont on se contentait jadis.«

2) Z. Kr. V. p. 277.

Unter den von Wyrouboff untersuchten Krystallen waren genau optisch einaxig nur sehr dünne Kryställchen, welche durch Verdunstung eines Tropfens der Lösung auf einem Objectträger sich gebildet hatten: »On a une substance uniaxe avec croix noire fixe.« In diesen hat er Circularpolarisation nicht nachweisen können aus dem einfachen Grund, weil sie im Verhältniss zu dem geringen Drehvermögen zu dünn waren. Dickere Krystalle dagegen verhielten sich anders; sie schienen wie circularpolarisirend, waren aber nicht einaxig sondern zweiaxig, und ihr Verhalten konnte sehr unregelmässig werden: »Les anneaux circulaires et la croix noire, même imparfaite, deviennent des exceptions, et n'existent que sur quelques points isolés de la lame; la structure apparaît comme complexe et la substance se présente comme nettement biaxe avec des axes dont l'orientation n'est point absolument constante et dont l'angle est toujours variable« (1. p. 12).

Im parallelen Licht erschienen die Blättchen parallel der Basis nach den Diagonalen in vier Felder getheilt, die Theilung wiederholte sich oft, so dass die Blättchen in vier, acht, auch zehn und mehr oder weniger Felder zerfielen. Die Einwirkung auf das polarisirte Licht war immer nur schwach, es herrschten die grauen Farben der ersten Ordnung. Die Ebene der optischen Axen war in jedem Feld gegen die Randkante gerichtet und bildete mit dieser einen Winkel von 82°—90°.

Zum Vergleich untersuchte Wyrouboff auch das selensaure und chromsaure Strychnin. Von dem selensauren Strychnin zeigten die eben aus der Lösung genommenen Krystalle lebhafte Interferenzfarben und verhielten sich wie zweiaxige Krystalle. Nach kurzer Zeit aber trat eine Umwandlung ein, die Krystalle wurden zwischen gekreuzten Nicols dunkel und waren nun normal optisch einaxig geworden. Die Krystalle des chromsauren Salzes sind immer normal einaxig; dies Salz soll nach Angabe von Wyrouboff nur in einer Wässerungsstufe vorkommen.

Zur Erklärung der am Strychninsulfat beobachteten Erscheinungen nimmt nun Wyrouboff an, das Strychninsulfat mit sechs Molekülen Wasser sei dimorph, die eine Modification sei quadratisch, optisch einaxig, ohne Circularpolarisation, die andere Modification sei in einfachen Krystallen nicht bekannt; diese, welche vielleicht dem monoklinen Salz mit $5H_2O$ nahe stünden, seien zweiaxig und verwüchsen nach Art der Glimmercombinationen und bildeten Krystalle von quadratischer Form (welche mit der Form der andern Modification identisch sein würde), und durch die Kreuzung der verschiedenen Individuen würden die an Circularpolarisation erinnernden Erscheinungen hervorgerufen: »Cet ensemble de faits me semble démontrer de la façon la plus évidente, et en dehors de toute hypothèse, qu'on a affaire là à un croisement de lamelles biaxes. La forme primitive de ces lamelles n'est pas déterminée avec une suffisante précision, et de recherches ultérieures sont nécessaires; ce qui est certain, c'est que c'est à leur empilement régulier qu'est dû le pouvoir rotatoire du sulfate de strychnine« (2. p. 393) .... »L'exemple du sulfate de strychnine est un de ceux qui illustrent le mieux

l'excellence de la méthode des lames minces que M. Mallard a été le premier à généraliser dans l'étude de la structure cristalline« (1. p. 11).

Auch Martin nimmt an, das Strychninsulfat sei dimorph, der Weg aber, auf dem er zu dieser Annahme geführt wurde, ist ein anderer.

Die von ihm untersuchten, etwa 1½ mm dicken Krystalle zeigten im parallelen Licht dieselbe Feldertheilung wie die von Wyrouboff beschriebenen, die Störungen des im convergenten Licht erscheinenden Interferenzbildes waren nur sehr geringfügig, die Ebene der optischen Axen senkrecht zu den Randkanten. Nachdem aber die Krystalle etwa einen Monat lang an der Luft gelegen hatten, war ihr optisches Verhalten geändert. Die Farben der Felder waren intensiver, die Zweiaxigkeit merklicher und gleichzeitig hatte eine Drehung der optischen Axenebene stattgefunden; sie war schliesslich nicht mehr normal zu den Randkanten, sondern bildete mit diesen einen Winkel von 45°, war also den Diagonalen parallel.

Dieselbe Änderung, die an der Luft in einem Monat eintrat, konnte in einem Exsiccator in wenigen Minuten hervorgerufen werden, war aber nicht dauernd, sondern an der Luft trat sehr bald der frühere Zustand wieder ein. Wurden die Krystalle in Canadabalsam eingelegt, so blieben sie unter dem Exsiccator unverändert.

Da nun das Salz sehr leicht Wasser abgiebt, so sollte man doch denken, die Änderungen im optischen Verhalten würden durch Wasserverlust hervorgerufen, aber Martin giebt das nicht zu, er will vielmehr durch Versuche gefunden haben, »dass der Verlust eines Moleküls Wasser und darüber auf das optische Verhalten des tetragonalen Strychninsulfats ohne Einfluss bleibt«. Aber warum werden die Krystalle im Exsiccator »anomal«? Warum werden sie an der Luft sogleich wieder normal? Warum werden die in Balsam eingelegten im Exsiccator nicht anomal? Was soll überhaupt der Exsiccator, wenn die Änderungen im optischen Verhalten doch nicht von einem Wasserverlust herrühren? Hierauf habe ich bei Martin eine Antwort nicht gefunden. Die Mittheilungen über seine Versuche sind so unklar und zum Theil so widersprechend, dass ich mich damit begnügen muss, nur seine Schlussfolgerungen anzuführen, welche ebenso unbefriedigend sind.

Martin betrachtet die Substanz $(C_{21}H_{22}N_2O_2)_2 . H_2SO_4 + nH_2O$ als dimorph, vielleicht sei sie sogar trimorph. Die Menge des Wassers scheint also Martin ganz gleichgültig zu sein, eine Substanz mit verschiedenem Wassergehalt ist für ihn dimorph. Die quadratische Form soll die labile Form sein; welches die stabile sein soll, erfahren wir nicht. Die Feldertheilung, welche die quadratischen Krystalle oft erkennen lassen, soll aber nicht auf die Dimorphie zurückzuführen sein, sondern durch innere Spannungen hervorgerufen werden, »welche vermuthlich ihren Grund in einem nach den Kanten und Ecken vorherrschenden Wachsthum haben«.

Nach meinen Beobachtungen entstehen die optischen Anomalien des quadratischen Strychninsulfats einzig durch den Wasserverlust. Das Verhalten der freien oder in Canadabalsam eingebetteten Krystalle beim Erwärmen, die

Änderungen, welche im Exsiccator eintreten, lassen keinen anderen Schluss zu. Die folgenden Angaben beziehen sich auf Platten parallel der Basis.

Werden Kryställchen auf dem Wasserbad erhitzt, so werden sie doppelbrechend und rissig; die Risse verlaufen bald parallel den Kanten, bald in der Richtung der Diagonalen. Die Art und Weise, wie die Doppelbrechung vertheilt ist, ist nicht immer dieselbe; entweder erscheint die Platte unregelmässig fleckig, die doppelbrechenden Stellen umgehen dann meist die Risse, oder es entstehen zwei Systeme doppelbrechender, den Randkanten paralleler Streifen, von denen die einen in der Normalstellung, die andern in der Diagonalstellung der Platte auslöschen. Seltener, und meist nur auf die Randpartien beschränkt, ist regelmässige Feldertheilung nach den Diagonalen. Die so entstandene Doppelbrechung verschwindet sehr bald wieder, wenn die Kryställchen von dem Wasserbad entfernt sind; wenn man sie unter dem Mikroskop beobachtet, so sieht man sehr schön, wie sie ganz allmählich wieder einfachbrechend werden. Wenn man aber die Kryställchen noch während sie auf dem Wasserbad liegen, mit Canadabalsam bedeckt, so dass sie von diesem ganz umschlossen sind, so bleibt die Doppelbrechung in ihnen bestehen.

Durch Liegen im Exsiccator werden die Kryställchen in derselben Weise doppelbrechend und rissig, schon nach drei Minuten ist die Doppelbrechung deutlich wahrnehmbar. Es treten wieder doppelbrechende, senkrecht zu den Randkanten verlaufende Streifen auf, und nicht sehr scharfe Feldertheilung; die Grenzen der Felder gehen bald nach den Ecken, bald nach den Kanten hin; oft geht die Feldertheilung von einer Ätzfigur in der Mitte der Basis aus. Die Auslöschung erfolgt hauptsächlich in der Diagonalstellung der Platte, bisweilen löschen einzelne Stellen in der Diagonal- andere in der Normalstellung der Platte aus. Die durch Liegen im Exsiccator entstandene Doppelbrechung verschwindet an der Luft sehr bald wieder, schon nach 1—2 Minuten ist der Krystall in der Richtung senkrecht zur Basis ebenso einfachbrechend wie vorher.

Da durch Liegen im Exsiccator ohne Erwärmen dieselben Veränderungen hervorgerufen werden wie durch das Erwärmen auf dem Wasserbad, so ist es nicht Dimorphie der Substanz, sondern der Wasserverlust, wodurch die optischen Eigenschaften der Kryställchen geändert werden.

Sehr schön kann man die bei dem Erwärmen eintretenden Veränderungen verfolgen, wenn die Kryställchen in Canadabalsam eingebettet sind. Schon nach kurzem Erwärmen auf dem kochenden Wasserbad ziehen breite doppelbrechende Lamellen durch die Platte, deren Vergrösserung man verfolgen kann, wenn man das Präparat von dem Wasserbad schnell unter das Mikroskop bringt. Noch besser geht dies, wenn man die Erwärmung unter dem Mikroskop auf dem heizbaren Objecttisch vornimmt. Alsdann tritt die Änderung plötzlich ein und der Verlauf des Vorganges ist dem Übergang aus einer dimorphen Modification in eine andere sehr ähnlich, allein bei dem Abkühlen tritt keine Rückwandlung ein, sondern die Platte bleibt so, wie sie geworden ist. Die Veränderungen beruhen hier eben nicht auf Dimorphie der Substanz, sondern dem

Wasserverlust. Dass in der That Wasserverlust stattgefunden hat, kann man hier nun direct nachweisen, denn man sieht Wasserbläschen rings um den Krystall im Balsam. Die auf diese Weise entstehenden doppelbrechenden Lamellen gehen den Randkanten parallel, die grösste optische Elasticitätsaxe fällt in ihre Längsrichtung wie in den Nadeln des Salzes mit fünf Molekülen Wasser. Die Doppelbrechung dieser Lamellen ist stark, sie erscheinen, wenn sie dünn sind, in lebhaften Interferenzfarben, die dickeren zeigen das Weiss der höheren Ordnung. Zuerst entstehen die Lamellen auf der Unterseite der Krystalle am Rande, also da, wo die Krystalle am wärmsten sind. Unterbricht man zeitig das Erwärmen, so gehen diese Lamellen nur unter einem Theil des Krystalls hin, der andere Theil ist unverändert. Im convergenten Licht geben diese unveränderten Theile das normale Interferenzbild, während da, wo jene Lamellen vorhanden sind, das Bild gestört erscheint; die Störungen sind am auffallendsten in der Diagonalstellung der Platte, sie sind gar nicht zu bemerken in der Normalstellung, da hier die Lamellen, welche die Störungen hervorrufen, in der Auslöschungslage sich befinden. Das Verhalten der Krystalle ist so, als befände sich zwischen einer Platte eines einaxigen Krystalls senkrecht zur Axe und einem Nicol ein doppelbrechendes Blättchen; fallen dessen Schwingungsrichtungen in die der Nicols, so ist das Interferenzbild normal, in den Zwischenlagen gestört.

Wird das Erwärmen weiter fortgesetzt, so wird die ganze Masse des Krystalls unter Erhaltung der Form verändert; im parallelen Licht erscheinen die Krystalle in den Farben der höheren Ordnungen, das Maximum der Auslöschung tritt in der Normalstellung ein; im convergenten Licht erscheinen nur ganz verwaschene Barren normal zu den Randkanten, wir haben nun eine Pseudomorphose des Strychninsulfats mit fünf Molekülen Wasser nach dem mit sechs Molekülen Wasser.

Wir kommen hiermit zu folgendem Schluss:

1) Das Strychninsulfat mit sechs Molekülen Wasser ist quadratisch, optisch einaxig, circularpolarisirend.

2) Die von Wyrouboff und Martin beschriebenen Anomalien entstehen durch Wasserverlust.

3) Durch Erwärmen auf dem Wasserbad entstehen schliesslich Pseudomorphosen des Salzes mit $5 H_2O$ nach dem mit $6 H_2O$.

4) Das chromsaure Strychnin, welches nach Wyrouboff nur in einer Wässerungsstufe vorkommt, ist immer genau optisch einaxig.

5) Das selensaure Strychnin, welches in der Lösung zweiaxig ist, an der Luft aber bald einaxig wird (nach Wyrouboff), besitzt vielleicht noch eine weitere Wässerungsstufe. Erscheinungen, welche zur Annahme von Dimorphie des Strychninsulfates berechtigten, habe ich nicht beobachtet.

Anhang.

Optisch anomale Krystalle, von denen die Ursache der Anomalien noch unbekannt ist, oder die zu keiner der vorhergehenden Gruppen gehören.

Analcim.

Literatur.

1. D. Brewster. Phil. Trans. 1818, I. p. 254.

2. —— Ed. Trans. X. p. 187—194. 1826.

3. Biot. Pol. lam. p. 671. 1841.

4. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 5. 1867.

5. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 227.

6. E. Mallard. Anom. opt. p. 111—116. 1876.

7. A. von Lasaulx. Das optische Verhalten des Pikranalcim vom Mte. Catini in Toscana. N. Jb. 1878. p. 510—514.

8. O. Lüdecke. Analcim aus dem Radauthale. Zeitschr. f. d. ges. Naturw. 52. p. 324. 1879.

9. A. von Lasaulx. Über einige ätnäische Mineralien. Z. Kr. V. p. 330—334. 1881.

10. A. de Schulten. Sur la reproduction artificielle de l'analcime. C. r. 1881, I. T. X. No. 25. p. 1493. Bull. min. III. p. 150 und V. p. 7. 1882.

11. A. Arzruni und S. Koch. Über den Analcim. Z. Kr. V. p. 483. 1881.

12. E. Bertrand. Forme cristalline de l'Eulytine. Bull. min. IV. p. 62. 1881.

13. A. Ben-Saude. Über den Analcim. Diss. Göttingen 1881 und N. Jb. 1882, I. p. 41—79. (Vorläufige Mittheilung in Gött. Nachr. Sitzg. v. 5. III. 1881.)

14. A. von Lasaulx. Über einen ausgezeichneten Krystall von sog. Pikranalcim vom Mte. Catini in Toscana. Sitzungsber. der niederrhein. Ges. Bonn. 1883. p. 170—174.

15. A. Merian. Beobachtungen am Tridymit. N. Jb. 1884, I. p. 195.

16. C. Klein. Analcim von Table Mountain bei Golden, Colorado. N. Jb. 1884, I. p. 250—253.

17. C. Stadtländer. Beiträge zur Kenntniss der am Stempel bei Marburg vorkommenden Mineralien: Analcim, Natrolith und Phillipsit. Diss. Göttingen 1885. N. Jb. 1885, II. p. 101—112.

18. A. Lacroix. Sur le diagnostic des zéolithes en l'absence de formes cristallines déterminables. Bull. min. VIII. p. 358. 1885.

19. E. M. Rohrbach. Über die Eruptivgesteine im Gebiete der schlesisch-mährischen Kreideformation. T. M. M. VII. p. 32. 1885.

20. S. L. Penfield. Crystals of Analcite from the Phoenix Mine, Lake Superior Copper Region. Am. Journ. of science 1885, XXX. 12. Referat im N. Jb. 1887, II. p. 281.

21. E. Stecher. Contacterscheinungen an schottischen Olivindiabasen. T. M. M. IX. p. 152. 1887.

22. W. C. Brögger. Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der südnorwegischen Augit- und Nephelinsyenite. Z. Kr. XVI. p. 565—585. 1890.

23. C. Klein. Krystallographisch-optische Untersuchungen, vorgenommen an Rhodizit, Jeremejewit, Analcim etc. Sitzungsber. d. Königl. Preuss. Akad. d. Wissensch. Berlin Sitzg. v. 26. VI. 1890. p. 24—27.

24. F. Rinne. Über die Umänderungen, welche die Zeolithe durch Erwärmen bei und nach dem Trübewerden erfahren. Sitzungsber. d. K. Pr. Akad. d. Wissensch. Berlin. Sitzg. v. 13. XI. 1890. XLVI. p. 1188—1192.

Die doppelbrechenden Krystalle des Analcim, mit Ausnahme des sogen. Eudnophit (22), verhalten sich so, als bestünden sie aus drei — die parallelen mitgerechnet, aus sechs — optisch einaxigen Individuen, welche sich so unter 90° durchkreuzen, dass die Richtung einer jeden der drei krystallographischen Axen zu einer optischen Axe wird. Jedes dieser Individuen scheint da, wo Ikositetraëderflächen herrschen, durch feinere Grenzen wieder in vier einzelne Theile zu zerfallen, so dass jede Ikositetraëderfläche einen Sector in das Krystallinnere zu schicken scheint, dessen Basis die betreffende Fläche ist. Bisweilen herrscht statt Einaxigkeit schwache Zweiaxigkeit, oder die optische Axe fälllt nicht genau in die Richtung der krystallographischen Axe; im allgemeinen aber entspricht das optische Verhalten jener Structur, die Abweichungen mögen durch secundäre Störungen hervorgerufen sein. Der optische Bau des Analcim ist zu vergleichen mit dem solcher Leucitkrystalle, welche aus drei durch einander gewachsenen Individuen bestehen — wenn man von den den Leucit durchsetzenden Lamellen hier, und von jener weiteren Theilung der Individuen bei Leucit absicht. Die Doppelbrechung ist immer sehr schwach; die Polarisationsfarben gehen selten über Grau der I. Ordnung hinaus.

Da die Schliffe aus würfeligen und ikositetraëdrischen Krystallen sich nicht wesentlich verschieden verhalten, so werden wir sie nicht gesondert betrachten. Wir folgen hauptsächlich der Beschreibung von Ben-Saude, die wir hier und da nach eigenen Beobachtungen ergänzen.

Schliffe parallel dem Würfel.

Die von einem würfeligen Krystall nahe der Oberfläche entnommenen Schliffe bleiben im parallelen polarisirten Licht in allen Lagen dunkel; die aus ikositetraëdrischen Krystallen zeigen im allgemeinen ein wirkungsloses Mittelfeld, umgeben von vier doppelbrechenden Feldern; nur wenn die Schliffe von der äussersten Oberfläche der Krystalle genommen sind, treten die doppelbrechenden Felder zurück und das wirkungslose Mittelfeld herrscht vor, und umgekehrt, die Felder werden grösser, wenn die Schliffe mehr aus dem Innern der Krystalle genommen werden.

Die Platten aus der Mitte von würfeligen Krystallen erscheinen von Ecke zu Ecke in vier Felder getheilt, welche meist ein wirkungsloses Mittelfeld

umschliessen und durch einfachbrechende Streifen getrennt werden (Fig. 135, Taf. V). Auslöschung tritt für die ganze Platte gleichzeitig ein, wenn die Randkanten den Schwingungsrichtungen der Nicols parallel gehen, jedoch haben manche Stellen unregelmässig abweichende Auslöschungslage. In jedem Feld ist die grösste optische Elasticitätsaxe normal zur Randkante. Die einfachbrechenden Streifen zwischen den doppelbrechenden Feldern schneiden sich nicht immer unter 90°, sondern nur dann, wenn der Umriss der Platte ein Quadrat ist; hat sie rechteckigen Umriss, so schneiden sich die auch hier von den Ecken ausgehenden Streifen unter schiefen Winkeln.

Schliffe aus der Mitte ikositetraëdrischer Krystalle haben eine symmetrisch achteckige Form und zerfallen im polarisirten Licht in acht Felder. Das Maximum der Auslöschung tritt ein, wenn die Richtungen der krystallographischen Axen mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen, jedoch weichen häufig die Auslöschungsrichtungen etwas von den Axenrichtungen ab, so dass, wenn vier Felder ganz dunkel sind, die vier andern etwas heller sind. Die Richtung der optischen Axe fällt also nicht immer genau in die Richtung einer krystallographischen Axe. Dasselbe werden wir bei Betrachtung der Dodekaëderschliffe wieder antreffen. Nach einer Drehung von 45° zeigt die Platte das Maximum der Helligkeit, sie wird von einem dunklen Kreuz durchsetzt, dessen Arme die stumpfen Winkel verbinden (Fig. 136).

In den doppelbrechenden Feldern der Platten aus ikositetraëdrischen Krystallen ist die grösste optische Elasticitätsaxe in der Regel ebenfalls normal zu der Randkante, bisweilen soll sie auch parallel zu dieser sein.

Im convergenten Licht giebt das Mittelfeld das schwarze Kreuz einaxiger Krystalle; wegen der schwachen Doppelbrechung ist es nicht scharf, oft auch öffnet es sich bei dem Drehen des Präparates ein wenig. Das Kreuz ist in der Regel centrisch, die optische Axe ist dann normal zur Würfelfläche und fällt mit der zur selben Würfelfläche senkrechten krystallographischen Axe zusammen.

Schliffe parallel dem Octaëder.

Wenn die Schliffe nahe der Oberfläche aus dem Krystall genommen sind, so haben sie dreiseitigen Umriss, zeigen Feldertheilung nach den Ecken und löschen parallel und senkrecht zu den Randkanten aus; die grösste optische Elasticitätsaxe ist in jedem Feld normal zur Randkante (Fig. 137). Bisweilen tritt hierzu noch eine ganz schwache Theilung nach der Mitte der Randkanten.

Ein Schliff aus der Mitte eines würfeligen Krystalls hat sechsseitige Form und zerfällt in sechs Felder (Fig. 138); werden von ihm auch Ikositetraëderflächen durchschnitten, so geht von jeder ein kleines Feld in das Innere.

Ein Schliff aus dem Innern eines ikositetraëdrischen Krystalls hat symmetrisch sechsseitigen Umriss und zeigt sich in drei Felder getheilt (Fig. 139);

die Auslöschungsrichtungen fallen in die Richtungen der Diagonalen. Ein Schliff genau aus der Mitte hat regulär sechsseitigen Umriss und zeigt Feldertheilung wie der Medianschliff aus einem würfeligen Krystall.

Im convergenten Licht zeigen die octaëdrischen Platten in jedem Feld den Austritt einer excentrischen Axe.

Schliffe parallel dem Dodekaëder.

Wenn die Krystalle nur von Ikositetraëderflächen begrenzt und die Schnitte nahe unter dem auf der Mitte der gebrochenen Octaëderkante liegenden Eckpunkt weggenommen sind, so haben sie die Gestalt eines Rhombus. Das Maximum der Auslöschung tritt ein, wenn die Diagonalen des Rhombus mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen; jedoch fallen die Schwingungsrichtungen innerhalb der Platte bisweilen nicht genau mit den Diagonalen zusammen. Wenn man nämlich die Platte etwas nach links dreht, so werden zwei über Eck liegende Felder dunkler wie vorher, die beiden andern heller, und wenn man nach rechts dreht, so werden diese dunkler, jene heller (vergl. Fig. 140). Die grösste optische Elasticitätsaxe fällt in die Richtung der langen Diagonale.

Sind die Krystalle nur von Würfelflächen begrenzt, so haben die Schliffe ∞O rechteckige Form, zerfallen in vier Felder und löschen parallel den Randkanten aus; sind sie aber von Ikositetraëder und Würfel begrenzt, so weisen die Schliffe eine Combination dieser beiden Structuren auf (Fig. 141), wobei bald die eine, bald die andere überwiegt, je nachdem an den Krystallen die Würfel- oder Ikositetraëderflächen vorherrschen.

Schliffe parallel dem Ikositetraëder.

Wenn diese Schliffe von der Oberfläche ikositetraëdrischer Krystalle genommen sind, so sind sie optisch homogen ohne Feldertheilung. Die Auslöschung erfolgt parallel der symmetrischen Diagonale, die grösste optische Elasticitätsaxe fällt in diese Diagonale. Da diese auch die Richtung der optischen Axe angiebt, so ist die optische Axe die grösste Elasticitätsaxe, der optische Charakter also negativ.

Einfluss der Wärme auf die optischen Eigenschaften des Analcim.

Schon Ben-Saude hatte gefunden und die späteren Forscher konnten es bestätigen, dass durch Erwärmen die Doppelbrechung im Analcim stärker wird und in allen Schliffen die vorher oft nur schwach angedeutete Feldertheilung stärker hervortritt. Dies beruht unzweifelhaft darauf, dass der Analcim durch das Erwärmen Wasser verliert; die Änderungen treten nicht ein, wenn die erhitzten Platten von feuchter Luft umgeben sind (16), und

durch Erwärmen in trockner Luft doppelbrechend gewordene Platten werden isotrop, wenn sie in einer feuchten Atmosphäre erhitzt werden (23).

Werden die Platten von Anfang an in feuchter Atmosphäre erhitzt, so wird die Doppelbrechung allmählich geringer, schliesslich verschwindet sie ganz (16). Bei dem Abkühlen tritt wieder Doppelbrechung auf, und das Präparat erlangt wieder sein ursprüngliches Aussehen (17).

»Nach dem Glühen des Analcims liegt trikliner Natronleucit vor. Derselbe ist in den ikositetraëdrischen Krystallen dem rhombischen Kalileucit entsprechend aus sechs pseudoquadratischen Hauptsectoren aufgebaut, deren Längsrichtungen liegen wie die drei Hauptaxen des Würfels. Jeder der Hauptsectoren zerfällt zwillingsmässig nach den seiner Längsrichtung parallelen zwei Würfelebenen in vier Einzelsectoren. Die Doppelbrechung um die erste Mittellinie, welche in jedem Einzelsector etwa 4° in der Richtung der anliegenden Hauptaxe des Ikositetraëders abweicht, ist negativ.

»Der Kalileucit und das Glühproduct des Analcims, der Natronleucit, stehen mithin in einem ähnlichen Verhältniss wie der Kalifeldspath Sanidin und der Natronfeldspath Albit, bei welchen gleichfalls die Natriumverbindung die minder symmetrische ist.

»Lässt man stark erhitzte Analcimplatten an der wasserdampfhaltigen Luft liegen, so kehren sie nicht in ihren Zustand, den sie vor der Erhitzung besassen, zurück. Noch immer weisen sie die stärkere Doppelbrechung auf, welche sie durch das Erhitzen annahmen« (F. Rinne [24]).

Wegen des Verhaltens beim Erwärmen lag natürlich die Frage nahe, ob die Doppelbrechung im Analcim überhaupt nicht erst durch das Erwärmen bei Herstellung der Präparate entstanden sei, um so mehr, als Rohrbach (19) festgestellt hatte, dass Dünnschliffe von Analcim, welche unter sorgfältiger Vermeidung jeder stärkeren Erwärmung hergestellt waren, isotrop, die in der üblichen Weise angefertigten aber doppelbrechend waren. Dem gegenüber aber konnte Stecher (21) nachweisen, dass Schliffe, welche ohne irgend eine Erwärmung hergestellt waren, doppelbrechend waren, die Doppelbrechung also nicht immer Folge der Erwärmung ist. Ebenso hebt C. Klein hervor (23), dass ganze Krystalle, die noch gar nicht bearbeitet sind, Doppelbrechung zeigen und auch ich konnte mich hiervon überzeugen. Es ist daher sicher, dass der Analcim oft schon doppelbrechend ist, ehe er bei Herstellung der Präparate etc. höherer Temperatur ausgesetzt wird.

Da nun bei jenen Versuchen die Doppelbrechung im Analcim nicht sowohl durch Temperaturerhöhung als vielmehr durch Wasserverlust hervorgerufen oder verstärkt wird, so wäre es möglich, dass der Analcim schon in der Natur etwas Wasser verloren hat und hierdurch doppelbrechend geworden ist.

C. Klein hält dies für bewiesen: »alle Versuche beweisen gleichmässig, dass die optischen Anomalien vom Wasserverlust herrühren« (23), und er sieht sogar in dem Vorhandensein der Doppelbrechung einen Beweis dafür, dass die Krystalle schon etwas Wasser verloren haben.

Ich möchte dies einstweilen nicht so entschieden behaupten, weil durch die Analyse ein Unterschied in dem Wassergehalt zwischen einfachbrechenden und doppelbrechenden Analcimkrystallen nicht nachgewiesen werden kann. Die der Formel entsprechende Wassermenge beträgt 8,17%; der von A. de Schulten dargestellte (10) einfachbrechende Analcim enthält 8,2%, der doppelbrechende 8,6% H_2O, also etwas mehr sogar als der einfachbrechende. Die natürlichen Krystalle [1]) enthalten 8,26—9,00% H_2O, nur der von Rammelsberg aufgeführte Analcim von den Cyklopeninseln bei Catania enthält 7,68% H_2O; nach einer neueren Analyse von Carl Hersch [2]) aber enthält auch dieser 8,29% H_2O. Keiner von diesen Analcimkrystallen enthält also weniger als die berechnete Menge Wasser, sondern alle ein wenig mehr.

Sprechen somit die Analysenresultate gegen die Annahme, dass die Doppelbrechung im Analcim durch Wasserverlust entstanden ist, so kann als Grund für diese Annahme nur noch angeführt werden:

1) dass dieselben Anomalien im Analcim durch Wasserverlust hervorgerufen werden können und

2) dass eine andere Ursache für die Entstehung der Anomalien nicht bekannt ist.

Auf der Wirkung einer isomorphen Beimischung können die Anomalien hier nicht beruhen, weil manche doppelbrechende Analcime keine Beimischung enthalten und weil die optische Structur nicht so ist, wie in Krystallen mit isomorpher Beimischung, z. B. Granat.

Gegen die Annahme der Dimorphie der Substanz scheint der Umstand zu sprechen, dass die Doppelbrechung in der heissen feuchten Atmosphäre allmählich verschwindet, nicht bei einer bestimmten Temperatur. Sonst sind gewisse Ähnlichkeiten nicht zu verkennen; die optische Structur stimmt mit der des Leucit in mancher Hinsicht überein: hier wie da werden die krystallographischen Axen zu Richtungen von optischen Axen, und die für Leucit so charakteristischen Streifensysteme, welche bei Analcim in der Regel fehlen, finden wir in dem sogen. Eudnophit wieder, nur sind die Lamellen hier nach den Würfelflächen, in Leucit nach den Granatoëderflächen eingelagert. Endlich giebt Stadtländer an, dass bei dem Abkühlen der in einer feuchten heissen Atmosphäre einfachbrechend gewordenen Platten alle vorher beobachteten Phasen wieder durchlaufen werden, und das Präparat nach dem Abkühlen wieder sein ursprüngliches Aussehen erlangt (17). Bei Klein finde ich letzteres niemals erwähnt, oder sollte es etwa hierin liegen: »Passendes Erhitzen in einer heissen Atmosphäre machte auch diese (durch Erhitzen in trockener Luft doppelbrechend gewordenen) Schliffe wieder isotrop, ein Zustand, den sie beim Erkalten und trockenen Erhitzen wieder verloren.« (23)? Dann könnte man an Dimorphie denken, jedoch würde dieser Annahme der Umstand entgegenstehen, dass manche Krystalle auch bei gewöhnlicher Temperatur einfachbrechend sind.

[1]) Vergl. Rammelsberg, Mineralchemie, p. 619.

[2]) N. Jb. 1888, II. p. 2 der Referate.

Kurzum, die Ursache der Anomalien des Analcim ist noch nicht klar gelegt; es ist immerhin nicht unmöglich, dass Dimorphie der Substanz vorliegt, es ist möglich, dass er durch innere Spannungen doppelbrechend ist, oder dass durch Wasserverlust die Anomalien entstanden sind. Um den Versuch zu machen, diese Frage zu entscheiden, fehlen mir die Apparate, namentlich die Möglichkeit, in feuchter heisser Luft zu erhitzen und die in den Präparaten vor sich gehenden Veränderungen genau zu verfolgen.

Anhang. Das früher Eudnophit[1]) genannte Mineral hat, wie Brögger (22) endgültig festgestellt hat, die Krystallform und chemische Zusammensetzung des Analcim, das optische Verhalten ist aber anders und erinnert mehr an das des Leucit; hier wie da sind die Krystalle von zahlreichen sich durchkreuzenden Zwillingslamellen durchsetzt, so dass z. B. Würfelschliffe dieses Analcim beim ersten Anblick Präparaten von Leucit nach den Würfelflächen täuschend ähnlich sehen; zwischen beiden besteht nur der wichtige Unterschied, dass bei Leucit die Lamellen nach den Rhombendodekaëderflächen, hier nach den Würfelflächen eingelagert sind.

Der typische Eudnophit von Låven bildet graue, trübe, in der Regel nur unregelmässig begrenzte Zwischenklemmungsmasse zwischen älteren Mineralien, namentlich Feldspath. Er besitzt Spaltbarkeit nach den drei Würfelflächen und gestattet die Herstellung von Spaltungsstücken. Ein Würfelschliff aus einem solchen Spaltstück zeigt die charakteristischen Eigenschaften und verhält sich nach Brögger (22. p. 569) wie folgt:

»In dem Präparat parallel (100) fanden sich erstens ungleich stark doppeltbrechende Partien; einige Stellen in dem recht dünnen Präparate zeigten eine ziemlich starke Doppelbrechung mit gelber Interferenzfarbe, andere Stellen dagegen zeigten sich ganz schwach doppeltbrechend mit tief grauer Interferenzfarbe. Ungefähr die Hälfte des Präparats war stark, die andere Hälfte schwach doppeltbrechend. Diese Partien mit ungleicher Doppelbrechung sind nicht durch Übergänge verbunden, sondern scharf gegeneinander abgegrenzt. Die Grenzen verlaufen dabei ganz unregelmässig, indem die beiden unregelmässig doppeltbrechenden Substanzen innig durcheinander gewachsen sind.....

»Die stärker doppeltbrechende Substanz ist durch und durch von zahlreichen Zwillingslamellen erfüllt; das Präparat sieht ganz wie ein Plagioklasschliff aus, denn die Lamellen sind ebenso regelmässig geradlinig, scharf begrenzt wie bei den Plagioklasen und die Doppelbrechung ebenso stark wie beim Labrador. Die Hauptmasse der Zwillingslamellen verlaufen parallel den Tracen von (010); ausserdem finden sich aber auch zwei rechtwinklig dazu angeordnete Systeme von Zwillingslamellen parallel den Tracen von (001). Die Lamellen der beiden ersten und der darauf rechtwinkligen Systeme durchkreuzen einander dabei häufig, wie bei manchen Plagioklasen. Die Auslöschungswinkel der Lamellensysteme sind nicht in allen Theilen des Präparates gleich; die gewöhnlichste Auslöschung ist 6° bis 7°; an andern Stellen

[1]) Die weitere Literatur über Eudnophit bei Brögger (22. p. 565).

bis $12\frac{1}{2}^0$ (rechts) in der einen Hälfte der Lamellen, während für die andere Hälfte ca. 10^0 (links) gefunden wurde; doch kommen auch Stellen vor, wo die eine Hälfte der Lamellen parallel auslöscht. An anderen Stellen des Präparates löschen die Lamellensysteme symmetrisch zur Trace von (010) aus, 6^0 links und 6^0 rechts. Zu bemerken ist ferner der deutliche Zusammenhang zwischen den Spalten des Präparates, namentlich nach (010) und (001), und der Zwillingslamellirung. Ganz wie bei gepressten Plagioklasen sieht man nämlich häufig, ja überall im Präparate, wie die Zwillingslamellen eines stark lamellirten Streifens nur bis an eine Spalte nach (001) fortsetzen; das ganze Präparat wird dadurch eigenthümlich mosaikartig getheilt.

»Auch unregelmässig verlaufende Spalten zeigen einen deutlichen Zusammenhang mit den Zwillingslamellen.

»Die schwach doppeltbrechenden Partien des Präparates sind nicht weniger voll von Zwillingslamellen, als die eben beschriebenen stärker doppeltbrechenden. Die Lamellen verlaufen auch hier in denselben Richtungen, und es finden sich auch hier gekreuzte Systeme. Die Auslöschungswinkel sind aber andere, nämlich theils ca. $22\frac{1}{2}^0$ (rechts) und ca. $12\frac{1}{2}^0$ (rechts), theils findet auch stellenweise parallele Auslöschung statt, endlich für das eine System der Lamellen eine Schiefe von ca. 6^0, $12\frac{1}{2}^0$ oder $22\frac{1}{2}^0$ links. Stellenweis ist die Auslöschung ganz unbestimmt undulirend. Ferner ist hier zu bemerken, dass ausser den scharfen Lamellensystemen parallel den Tracen der Würfelflächen sich auch noch andere gekreuzte Lamellensysteme finden, welche diagonal zu den herrschenden und also den Tracen der Rhombendodekaëderflächen (011) und ($0\bar{1}1$) parallel sind. Diese letzteren Lamellensysteme sind breiter und mehr verwaschen, als die scharfen Lamellen nach den Würfelflächen. Bei genauerem Untersuchen findet man übrigens diese Lamellensysteme nach den Rhombendodekaëdertracen auch in den stärker doppeltbrechenden Partien, hier aber sehr spärlich und untergeordnet.

»Die Partien des Präparates mit der schwach doppeltbrechenden Substanz sind beim ersten Anblick oft täuschend ähnlich Präparaten von Leucit nach den Würfelflächen; nur ist der Unterschied zu bemerken, dass die feinen, scharfen Zwillingslamellen beim Leucit parallel den Tracen der Rhombendodekaëderflächen, beim Eudnophit dagegen parallel den Tracen der Würfelflächen liegen, während umgekehrt die breiten verwaschenen Lamellen beim Leucit parallel den Tracen der Würfelflächen, beim Eudnophit parallel denen der Rhombendodekaëderflächen sind.«

Aus dieser Beschreibung ist das charakteristische Verhalten des Eudnophit-Analcim zu erkennen; die Schliffe nach anderen Richtungen verhalten sich analog. Die Schliffe aus kleinen, ringsum ausgebildeten Krystallen zeigen dieselben Streifensysteme, ausserdem, namentlich am Rand, Feldertheilung, worin sich der Einfluss der äusseren Begrenzung auf die optische Structur wieder zu erkennen giebt. Zwischen der doppelbrechenden Masse finden sich manchmal einfachbrechende Stellen.

»Fassen wir die Beobachtungen über die Präparate dieser ausgesuchten Stufe des typischen Eudnophit von Låven zusammen, so ergiebt sich also, dass derselbe der Hauptsache nach aus Zwillingslamellen nach den Würfelflächen von theils stark doppeltbrechender, theils ganz schwach doppeltbrechender Substanz aufgebaut ist; die Auslöschungswinkel der Lamellensysteme mit den Tracen der Spaltungsrichtungen nach den Würfelflächen zeigen, dass der Eudnophit sich in seinem jetzigen Zustande bei gewöhnlicher Temperatur asymmetrisch verhält. Abgesehen von den Unregelmässigkeiten, welche offenbar theils von dem Einflusse der zufälligen äusseren Begrenzung, theils von störenden Spannungsverhältnissen herrühren, scheint der Eudnophitcomplex der Hauptsache nach aus Zwillingslamellen von sechs verschiedenen Individuen mit asymmetrischer Molekularstructur aufgebaut, welche durcheinander gewachsen und von denen je zwei in Zwillingsstellung nach einer der Flächen (100), (010) oder (001) des ursprünglichen regulären Analcims orientirt sind; ausser diesen Zwillingslamellen finden sich untergeordnet auch andere nach den Flächen, welche den Rhombendodekaëderflächen des ursprünglichen regulären Analcims entsprechen. Auch eine deutliche Zwillingsorientirung der grösseren Felder nach den Rhombendodekaëderflächen lässt sich bisweilen nachweisen.«

Indem Brögger nun die möglichen Ursachen dieser Anomalien bespricht, kommt er auch auf die Ansicht von C. Klein zu sprechen, dass die Anomalien durch Wasserverlust entstanden seien: »Für diese Auffassung spricht einerseits entschieden die Thatsache, dass die am stärksten doppeltbrechenden aller Analcime, die oben beschriebenen Eudnophit-Analcime, immer milchweiss undurchsichtig bis nur halbklar durchscheinend, nie gut durchsichtig sind; anderseits aber zeigen die recht zahlreichen Analysen ... keinen abweichenden Wassergehalt; derselbe ist in den meisten Analysen sogar etwas grösser, als der berechnete.« Nach den Analysen beträgt der Wassergehalt 8,00—8,38%, wir haben hier also dasselbe, wie beim eigentlichen Analcim.

Brögger fährt alsdann fort: »Es sei dem wie ihm wolle, so viel scheint mir aus meinen Untersuchungen des Eudnophit-Analcim hervorzugehen, dass die Doppelbrechungserscheinungen des Analcim und des Leucit (abgesehen von den speciellen Unterschieden in Einzelheiten bei beiden Mineralien) vielleicht nicht so wesentlich verschieden aufgefasst werden dürfen. Hat bei dem einen dieser Mineralien, dem Leucit, eine bestimmte Molekularumlagerung aus dem regulären Systeme in ein bestimmtes anderes, weniger symmetrisches System stattgefunden, wie gewöhnlich angenommen wird, so scheint dies, wenn man aus der grossen Ähnlichkeit der optischen Verhältnisse schliessen dürfte, auch beim Analcim nothwendig der Fall gewesen zu sein, obwohl zwar bei diesem letzteren keine goniometrisch nachweisbare Umgestaltung der Krystallkörpers nachgewiesen wurde. Ich bin nämlich nicht davon überzeugt, dass wirklich deshalb in beiden Fällen ein wesentlicher Unterschied vorhanden wäre, weil beim Leucit dies letztere der Fall ist; die körperlichen Umgestaltungen können vielleicht auch beim Analcim, obwohl zu

gering, um leicht nachgewiesen zu werden, vorhanden sein; auch bei den gewöhnlichen rauhen Leucitkrystallen sind keine geometrischen Änderungen nachweisbar.«

Dies letzte Bedenken ist grundlos, da die Form durch molekulare Umlagerung nicht nothwendig geändert wird; sie ist auch bei Boracit regulär. Dagegen kann die trübe Beschaffenheit eine Folge der molekularen Umlagerung sein, sie ist nicht immer das Anzeichen, dass die betreffenden Krystalle Wasser verloren haben.

Anatas.

Literatur.

1. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 434. 1883.
2. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 11. 1867. P. A. 126. p. 442.
3. H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. I. Aufl. p. 188. 1873. II. Aufl. p. 308. 1885.
4. E. Mallard. Anom. opt. p. 173. 1876.
5. A. von Lasaulx. Über Mikrostructur, optisches Verhalten und Umwandlung des Rutil in Titaneisen. Z. Kr. VIII. p. 74. 1884.

Die Anomalien des Anatases äussern sich besonders durch schwache Zweiaxigkeit in basischen Spaltblättchen und sind nicht sehr häufig; oft verhalten sich die Krystalle ganz normal.

Dünne Spaltblättchen des Anatases wirken nach E. Mallard nur wenig auf das parallele polarisirte Licht; im convergenten Licht erweisen sie sich als schwach zweiaxig, der Axenwinkel ist immer klein, oft auch Null; die Ebene der optischen Axen soll bald normal zu einer Randkante sein, bald schief hierzu.

Die Krystalle sind häufig zonar gebaut und in Spaltblättchen parallel der Basis wechseln oft farblose, gelbliche und blaue Streifen mit einander ab, welche entweder parallel den Spaltrissen nach *P*(111) oder nach den Diagonalen dieser Spaltbarkeit verlaufen. In einem gewissen Zusammenhang mit dieser zonaren Structur steht nach Rosenbusch das optische Verhalten, denn die Blättchen sind besonders in den blauen Stellen zweiaxig, während sie in den andern einaxig sind.

Die von Lasaulx untersuchten Krystalle aus Brasilien und von Vannes waren fast an allen Stellen einaxig, nur hier und da liessen sie eine schwache Öffnung der Kreuzbalken wahrnehmen; auch der Anatas von Bourg d'Oisans ist nur ganz schwach zweiaxig.

Dickere Spaltblättchen von Anatas bleiben nach Mallard zwischen gekreuzten Nicols in jedem Azimuth unverändert hell; Mallard schliesst hieraus, dass die Krystalle aus übereinander gelagerten zweiaxigen Lamellen aufgebaut sind. Durch das Verhalten der Krystalle ist jedoch dieser Schluss nicht gerechtfertigt; sie theilen es mit allen stärker doppelbrechenden einaxigen Krystallen, z. B. Kalkspath. Eine nur 0,2 mm dicke, senkrecht zur optischen Axe

geschnittene Platte von Kalkspath wird unter dem Mikroskop zwischen gekreuzten Nicols nicht dunkel, sondern bleibt in jedem Azimuth hell; dicke Platten sind bei gekreuzten Nicols fast ebenso hell wie bei parallelen. Dies beruht aber nicht darauf, dass der Krystall aus zweiaxigen Lamellen aufgebaut ist, sondern einfach darauf, dass das Licht, welches durch die Platte geht, nicht vollkommen parallel ist; die Auslöschung wird um so vollkommener, je weniger convergent das Licht ist. Nimmt man das Ocular weg, so sieht man bekanntlich das Interferenzbild einaxiger Krystalle; dasselbe bekommt man von dicken Platten in einem Polarisationsapparat, in dem gar keine Linsen in den Gang der Lichtstrahlen eingeschaltet sind, weil eben das Licht, welches durch die Platte geht, nicht vollkommen parallel ist. Wenn also Mallard die unvollkommene Auslöschung senkrecht zur optischen Axe geschnittener Platten als einen Beweis dafür anführt, dass diese Krystalle aus zweiaxigen Lamellen aufgebaut seien, so muss dieser Grund als nicht stichhaltig bezeichnet werden.

Die schwache Zweiaxigkeit der Anataskrystalle ist ebensowenig ein Beweis dafür, dass die Krystalle, wie Mallard annimmt, aus monoklinen Lamellen aufgebaut sind. Die Überlagerung müsste eine beispiellos regelmässige sein, da doch die meisten Krystalle in ihrer Hauptmasse einaxig sind.

Nach dem ganzen Verhalten scheint es mir unzweifelhaft, dass die Krystalle quadratisch, oft normal optisch einaxig, bisweilen anomal zweiaxig sind. Die geringen Anomalien können durch irgendwelche unbekannte Vorgänge während des Wachsthums entstanden sein.

Chlorsaures und bromsaures Natron.

Literatur.

1. Biot-Mitscherlich. C. r. 1846, II. p. 902.
2. Marbach. P. A. 94. p. 419. 1855.
3. F. Klocke. Über Doppelbrechung regulärer Krystalle. N. Jb. 1880, I. p. 81.
4. E. Mallard. Sur l'isomorphisme des chlorates et des azotates etc. Bull. min. VII. p. 350—358. 1884.
5. G. Wyrouboff. Recherches sur la structure des corps cristallisés doués du pouvoir rotatoire. A. Chim. 6. Sér. T. VIII. p. 401—407. 1886.
6. —— Nouvelles recherches sur la structure des cristaux doués du pouvoir rotatoire. Bull. min. XIII. p. 227—231. 1890.

Die Krystalle von reinem chlorsauren Natron sind einfachbrechend und mit Circularpolarisation begabt. Durch Beimischung von bromsaurem Natron werden sie kräftig doppelbrechend, zweiaxig, senkrecht zu den Würfelflächen tritt eine optische Axe aus. Das durch die Krystalle hindurch gegangene Licht verhält sich wie elliptisch polarisirt, und hierdurch und wahrscheinlich noch durch die Dimorphie der Substanz sind die Verhältnisse so complicirt, dass ich bis jetzt einen klaren Einblick nicht gewonnen habe.

Eulytin (Kieselwismuth, Wismuthblende).

Literatur.

E. Bertrand. Forme cristalline de l'Eulytine. Bull. min. IV. p. 61. 1881.

Die immer nur kleinen Krystalle von Kieselwismuth zeigen entweder das Pyramidentretaëder $\frac{2O2}{2}$ (211) allein oder mit $-\frac{2O2}{2}$ $(2\bar{1}1)$; seltener treten $\frac{O}{2}$ (111) und $\infty O \infty$ (100) hinzu.

Nach E. Bertrand soll ein Schliff $\| \frac{O}{2}$ im convergenten Licht das Interferenzbild einaxiger Krystalle geben; die optische Axe wäre senkrecht zur Fläche, der optische Charakter negativ. Bertrand meint daher, dass die scheinbar regulären Krystalle rhomboëdrisch wären und aus vier, in Zwillingsstellung zu einander befindlichen Individuen aufgebaut seien, deren Spitzen im Krystallmittelpunkt lägen; er fügt hinzu, dass bisweilen die Schliffe nicht homogen sind, sondern Dreitheilung erkennen lassen.

Dies letztere kann ich bestätigen. Wenn man ein Kryställchen mit den einem Octanten angehörenden Pyramidentetraëderflächen auf einem Objectträger festklebt und dann so dünn wie möglich schleift, so findet man es bei Untersuchung im parallelen polarisirten Licht in drei Felder getheilt (Fig. 142, (Taf. V), deren Grenzen nach den Ecken zu verlaufen. Jedes Feld löscht parallel und senkrecht zur Randkante aus, die kleinste optische Elasticitätsaxe ist senkrecht zur Randkante in jedem. Im convergenten Licht war nichts deutliches zu sehen.

Solche Krystalle würden also anders gebaut sein, als Bertrand angenommen hat. Da sie von dem Pyramidentetraëder begrenzt sind und die Grenzen der optisch verschiedenen Felder mit den über einer Tetraëderfläche liegenden Krystallkanten zusammenfallen, so würde jeder Krystall aus $3 \times 4 = 12$ Individuen bestehen. Die optische Structur würde also mit der äusseren Begrenzung in Zusammenhang stehen. Wenn die von Bertrand untersuchten, optisch einaxig befundenen Schliffe etwa einer natürlichen Tetraëderfläche parallel waren, so wäre eine Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung vorhanden, wie wir sie in den regulären, durch isomorphe Beimischung anomalen Krystallen kennen gelernt haben.

Ob die anomalen Krystalle von Kieselwismuth isomorphe Beimischung enthalten, kann man nach den vorhandenen Analysen nicht sicher entscheiden; man findet bei Rammelsberg, Mineralchemie, angegeben:

	1.	2.
SiO_2	22,23	16,23
Bi_2O_3	69,38	82,23
Fe_2O_3	2,70	0,52
P_2O_5	3,31	0,28
Summe =	97,62	99,26

1) nach Kersten, 2) nach vom Rath.

Sollten sich die grossen Verschiedenheiten der beiden Analysen vielleicht dadurch erklären, dass neben Wismuth noch ein anderes Element in dem Mineral enthalten ist, welches den Analytikern entgangen ist und zu Fehlern Veranlassung gegeben hat?

Flussspath.

Literatur.

1. D. Brewster. Ed. Trans. VIII, I. p. 195. 1815.
2. —— Phil. Trans. 1816, I. p. 77.
3. —— Phil. Trans. 1816, I. p. 167.
4. Biot. Pol. lam. p. 654—661. 1844.
5. J. Hirschwald. T. M. M. 1875. p. 242.
6. E. Mallard. Anom. opt. p. 115. 1876.
7. E. Hussak. Ein Beitrag zur Kenntniss der optischen Anomalien am Flussspath. Z. Kr. XII. p. 552—568. 1887.
8. R. Brauns. Referat über die Arbeit von Hussak. N. Jb. 1888, II. p. 26.
9. Fr. Pockels. Doppelbrechung durch Druck in Flussspath. W. A. Bd. 37. p. 144. 269. 372.
10. F. Becke. Ätzversuche an Fluorit. T. M. M. XI. p. 382. 1890.

Wir haben gesehen, dass schon Brewster Doppelbrechung in Flussspath beobachtet und auch gefunden hatte, dass einfachbrechender Flussspath durch Druck und schnelle Kühlung doppelbrechend wird. Seitdem ist die Doppelbrechung von Flussspath wiederholt erwähnt und beschrieben worden, am ausführlichsten in neuerer Zeit von E. Hussak. Der Inhalt seiner Abhandlung ist in dem Referat von R. Brauns für unsere Zwecke passend kurz zusammengefasst, und es möge gestattet sein, das Referat mit den Bemerkungen des Referenten hier wiederzugeben.

»Verfasser hat Flussspathkrystalle von 14 verschiedenen Fundorten untersucht und alle doppelbrechend gefunden. Schliffe parallel den Würfelflächen zeigen bei gekreuzten Nicols, wenn die Würfelkanten den Schwingungsrichtungen der Nicols parallel sind, breite, kurze, doppelbrechende Lamellen, die in der Richtung der Würfelflächendiagonalen verlaufen und sich rechtwinkelig kreuzen. Die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt mit der Längsrichtung der Streifen zusammen. Nach einer Drehung um 45° löschen diese Lamellen aus und es treten viel zahlreichere, aber schmälere und längere doppelbrechende Lamellen auf, die den Würfelkanten genau parallel gehen und sich ebenfalls kreuzen (Figur 143, Tafel VI). Nur diese letzteren Streifensysteme hat Mallard am Flussspath beobachtet. Die Würfelschnitte sämmtlicher untersuchter Flussspathvorkommen sollen sich gleich verhalten und genau so, wie beschrieben, nur ist die Stärke der Doppelbrechung verschieden, so dass z. B. bei dem Flussspath von Stolberg, Cornwall, Zacatecas die anomalen Erscheinungen in den Würfelschnitten erst bei einer Dicke von 2—3 mm hervortreten. Die in der Richtung der Diagonalen verlaufenden doppelbrechenden Lamellen sollen bei gekreuzten Nicols darum so

verschwommen hervortreten, weil sie Schnitte von schief auf die Würfelfläche einsetzenden Lamellen seien. (Hiermit steht in Widerspruch die weitere Annahme des Verfassers, die Lamellen seien parallel den Dodekaëderflächen eingelagert; in diesem Falle müssten gerade umgekehrt die den Diagonalen parallel gehenden Streifen scharf, die den Würfelkanten parallel gehenden verschwommen einsetzen.) Die Untersuchung der zonal gebauten Flussspathe von Zinnwald, Schlaggenwald und Marienberg ergab, dass die Doppelbrechung vom zonalen Bau nicht abhängig ist, indem doppelbrechende Lamellen sowohl in dem farblosen als auch in dem violblauen Theile des Krystalls zu bemerken waren.

»An einem Fluorescenzwürfel war die mikroklinähnliche Lamellirung nicht zu beobachten, sondern nur sich nicht kreuzende, den Würfelkanten parallel gehende doppelbrechende Streifen abwechselnd mit einfachbrechenden. (Über die Lage der optischen Elasticitätsaxen in den doppelbrechenden Streifen wird nichts mitgetheilt.) Schliffe aus der Mitte der Krystalle verhielten sich ebenso, wie die der Oberfläche entnommenen.

»Schliffe parallel den Octaëderflächen zeigen bald Feldertheilung, bald keine solche, ersteres auch dann, wenn in den Würfelschnitten der Krystalle keine Feldertheilung zu Tage trat. Zu der ersteren Gruppe gehören die Flussspathe von Zinnwald, Alstonmoor, Freiberg und Marienberg. Die Felder sind nicht einheitlich doppelbrechend, sondern ebenfalls durchzogen von sich unter 120° durchkreuzenden, oder einander parallel laufenden und dann auf den Dreiecksseiten senkrecht stehenden Streifensystemen, von denen die ersten je in dem Felde auftreten, dessen äussere Seite der Schwingungsrichtung eines Nicols parallel geht, die andern bei dieser Stellung in den beiden andern Feldern. Bei den Octaëderschliffen ohne Feldertheilung gehen zwei oder auch nur ein System doppelbrechender Lamellen den Dreiecksseiten parallel.

»In den Dodekaëderschliffen tritt keine Feldertheilung auf, sondern, wie in den Würfelschliffen, zwei Streifensysteme, von denen das eine aus verschwommenen parallel den octaëdrischen Spaltrissen verlaufenden Streifen, das andere aus schärferen, den Längsseiten parallelen Streifen zusammengesetzt ist.

»Bei höherer Temperatur konnte eine Änderung der optischen Erscheinungen nicht beobachtet werden; durch Druck werden vorher nur schwach doppelbrechende Platten gleichmässig doppelbrechend, ohne die Streifensysteme zu zeigen. Zur Erklärung der optischen Anomalien des Flussspaths nimmt Verfasser an, dass sie durch beim Wachsthum der Krystalle hervorgerufene Spannungen hervorgebracht seien.« Hierzu bemerkt R. Brauns:

(»Referent hat bei seinen Untersuchungen am Flussspath die Angaben des Verfassers nicht in vollem Umfang bestätigt gefunden, namentlich hat er bei keinem der würfeligen Krystalle doppelbrechende, in der Richtung der Würfelflächendiagonalen verlaufende Lamellen beobachtet. Es wurden, um etwa durch das Zerschneiden und Schleifen entstehende Störungen zu vermeiden,

nur losgesprengte Würfel (von Zinnwald, Gersdorf, Waldshut in Baden, Weardale und Alstonmoor) untersucht, bei allen aber nur den Kanten parallel laufende, sich kreuzende Streifen beobachtet, wie es Mallard beschreibt und abbildet. Die Krystalle von Zinnwald zeigten ausserdem Feldertheilung und optisch zonale Structur: während im Innern die sich kreuzenden Streifen auftraten, folgten nach aussen hin zwei breitere, den Würfelkanten parallel gehende und an den Diagonalen aneinander stossende, doppelbrechende, sich nicht kreuzende Streifen, getrennt durch ein schmales einfachbrechendes Band. Nach Einschaltung des Gypsblättchens trat die Feldertheilung und zonale Structur deutlich hervor: in jedem von zwei Diagonalenhälften und einer Würfelkante begrenzten Sector war die kleinere optische Elasticitätsaxe im inneren Streifen senkrecht, im äusseren parallel zu dessen Längserstreckung, also ähnlich wie es vom Granat und Alaun her bekannt ist. Durch Verschiedenheit in der Färbung der Krystalle war diese zonale Structur nicht angedeutet. In Würfelschnitten dagegen, die mit der Maschine aus Krystallen herausgeschnitten waren, wurden auch vereinzelte, in der Richtung der Diagonalen verlaufende Streifen beobachtet, welche sich so verhielten, wie Verfasser angiebt, aber nicht eigentlich doppelbrechend waren, sondern nachweisbar in jedem Fall auf Spaltrissen auftraten, an denen das von unten kommende Licht reflectirt wurde und hiernach auf das durch die gekreuzten Nicols dunkle Gesichtsfeld aufhellend wirkte.«)

Hierzu ist zu bemerken, dass die Doppelbrechung im Flussspath immer sehr schwach ist; die Interferenzfarben sind auch in dicken Krystallen meist Farben erster Ordnung, in der Regel das Graublau. Oft aber ist der Flussspath durchaus einfachbrechend, namentlich gilt dies von dem farblosen Flussspath aus der Schweiz, der wegen seiner tadellosen Beschaffenheit in neuester Zeit sogar zu Linsen für gewisse Mikroskopobjective benutzt wird. Die Annahme von Hussak, dass die Doppelbrechung durch beim Wachsen entstandene Spannungen hervorgebracht sei, hat nach allem viel Wahrscheinlichkeit für sich; beweisen können wir es nicht.

Zu derselben Ansicht ist F. Becke (10) durch das Studium der Ätzfiguren geführt worden. Während die Ätzfiguren vieler Flussspathkrystalle normal sind, d. h. ihre Symmetrie der Symmetrie der Fläche, auf welcher sie liegen, entspricht, sind sie bei andern, die zugleich in Gegensatz zu jenen stark oder deutlich doppelbrechend sind, anomal, weniger symmetrisch, als man nach der Symmetrie der Fläche erwarten sollte. Auf Würfelflächen z. B. ist ihre Symmetrie tetragonal; »würfelige Krystalle zerfallen in sechs Theile von vierseitig pyramidaler Gestalt, welche ihre Basis in der Würfelfläche, die gemeinsame Spitze im Mittelpunkt des Krystalls haben. Die Basis, der äusseren Würfelfläche entsprechend, hat tetrasymmetrische Ätzfiguren. In Schliffflächen durch die Mitte des Krystalls kommen in den Randsectoren die Flächen (100) und (010) mit disymmetrischen Ätzfiguren zum Vorschein. Auf der Spaltfläche hat man der tetragonalen Pyramide entsprechend monosymmetrische Figuren.« Octaëdrische

Krystalle würden in ähnlicher Weise in acht rhomboëdrische Theile zerfallen. Eine klare Beziehung der bei der Ätzung zu Tage tretenden Sectoren zu den doppelbrechenden Lamellen ist in der Regel nicht zu erkennen. »In den Randsectoren würfeliger Krystalle treten doppelbrechende Stellen auf, die parallel den Würfelkanten auslöschen; die Axe der grössten Elasticität liegt bald senkrecht, bald parallel zur Randkante; bald schneiden sie am Mittelfelde ab, bald erstrecken sie sich, ohne sich an die durch die Ätzung enthüllte Grenze zu kehren, ins Mittelfeld hinein.« »An Octaëderplatten ist die optische Erscheinung, obgleich die Doppelbrechung im allgemeinen schwächer zu sein scheint als in Würfelplatten, enger mit der Sectorentheilung infolge von Ätzung verknüpft ..... die Grenzen der drei optischen Felder und der drei durch Ätzung bezeichneten Sectoren fallen zusammen.«

F. Becke ist nun der Ansicht, dass die Erscheinungen nicht einer Mimesie zuzuschreiben sind, sondern dass sie auf Wachsthumsstörungen beruhen.

»Die anomalen Ätzfiguren finden sich nur bei solchen Flussspathen, welche aus hypoparallel verwachsenen Theilen bestehen, bei denen also Störungen im Wachsen vorkamen, und sie stehen mit der Richtung, in der das Wachsen der betreffenden Theile stattfand, in deutlichstem Zusammenhang. Aus dem Verlauf der Sectorengrenzen ergiebt sich klar, dass die sechs Theile, in welche den Ätzfiguren gemäss der Fluoritwürfel von Cumberland zerfällt, genau jenen Theilen des Krystalls entsprechen, welche durch Stoffansatz auf den sechs Würfelflächen des Krystalls entstanden sind. So im idealen Fall, der in Wirklichkeit nicht vorkommt; in der That verliert der Aufbau seine Regelmässigkeit, wo Flussspathkrystalle sich gegenseitig in der Ausbildung hemmen. Nehmen wir zu den Symmetrieeigenschaften des tesseralen Systems eine abweichende Richtung parallel der Wachsthumsrichtung, normal zur Würfelfläche hinzu, so erhalten wir die tetragonale Symmetrie der sechs Anwachskegel, wie man die nach einer Krystallfläche gewachsenen Antheile passend bezeichnen kann. Es ist nun so, als ob jeder Anwachskegel eine Art Erinnerung an die Richtung, in der er gewachsen ist, bewahrte; die betreffende Richtung ist ein für allemal an dem realen Krystalltheil von den übrigen krystallographisch und theoretisch gleichwerthigen Richtungen verschieden. Je nach der Lage der Axe des Anwachskegels kann dieser im tesseralen System sehr verschiedene Symmetrie erhalten: tetragonale, wenn die Anwachsfläche die Würfelfläche ist, rhomboëdrische beim Octaëder, rhombische beim Rhombendodekaëder, monokline bei den andern Formen der Hauptzonen, trikline beim Hexakisoctaëder.

»Die Erscheinungen beim anomalen Flussspath von Cornwall sind nun von der Art, dass sie erklärt werden können durch die Annahme von linearen Störungen des Molekularbaues, welche parallel der Axe des Anwachskegels orientirt sind, und längs welcher das Ätzmittel rascher vordringen kann, als in andern Richtungen .....

»Den Zusammenhang mit den optischen Anomalien darf man sich nun wohl so denken, dass dieselben Vorgänge, welche das Zustandekommen dieser

Störungen begünstigen, auch die Entstehung von Spannungen zwischen den einzelnen Theilen des wachsenden Krystalls bedingen« (10).

Das Verhalten gegen Druck haben wir durch Pockels (9) kennen gelernt; hiernach wird Flussspath durch einen senkrecht auf zwei gegenüberliegende Würfelflächen ausgeübten Druck negativ, durch einen auf zwei Octaëderflächen ausgeübten Druck positiv doppelbrechend, verhält sich also in dieser Beziehung gerade umgekehrt wie Sylvin (vergl. p. 152 und 162).

Wenn man doppelbrechenden Flussspath, z. B. solchen, welcher Andeutung von Feldertheilung zeigt, senkrecht zu zwei Würfelflächen presst, so wird er leicht stärker doppelbrechend und einheitlich, indem alle Partien, in welchen vorher die kleinste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung fiel, erst einfachbrechend und dann wieder doppelbrechend werden mit umgekehrter Lage der Elasticitätsaxen; in allen Theilen des senkrecht zu zwei Würfelflächen gepressten Krystalls fällt die grösste optische Elasticitätsaxe in die Druckrichtung.

Heulandit.

Literatur.

1. E. Mallard. De l'action de la chaleur sur la Heulandite. Bull. min. V. p. 255—260. 1882.

2. W. Klein. Beiträge zur Kenntniss der optischen Änderungen in Krystallen unter dem Einflusse der Erwärmung. Z. Kr. IX. p. 55. 1884.

3. F. Rinne. Über Faujasit und Heulandit. N. Jb. 1887, II. p. 25—38.

4. —— Über die Umänderungen, welche die Zeolithe durch Erwärmen bei und nach dem Trübewerden erfahren. Sitzgsber. d. K. Pr. Akad. d. Wissensch. Sitzg. v. 13. XI. 90. p. 1183.

Spaltblättchen von Heulandit parallel dem Klinopinakoid erweisen sich bei Untersuchung im parallelen polarisirten Licht nur dann als einheitlich, wenn sie ganz nahe der Oberfläche dem Krystall entnommen sind; die dem Krystallinnern näher liegenden Blättchen zeigen Feldertheilung, die um so tiefer geht, je mehr die Blättchen der Mitte sich nähern.

In den einheitlichen Blättchen liegt die Ebene der optischen Axen im stumpfen Winkel der Axen $\dot{a}$ und $\dot{c}$ und macht mit der Axe $\dot{a}$ einen Winkel von etwa 34° für Tageslicht in den Krystallen von Andreasberg, von etwa 6° in denen von Viesch, von 8° in denen von Berufjord und wieder von 32° in den Krystallen aus dem Fassathal (3). Die erste Mittellinie ist auf der Spaltfläche senkrecht, der Axenwinkel an verschiedenen Stellen derselben Platte verschieden gross. Die Dispersion ist die gekreuzte.

»Ganz anders als das erste erscheint bereits das zweite, dem Krystallinnern näher liegende Spaltblättchen (Fig. 144, Taf. VI) aus einem Andreasberger Krystall. Zwar löscht noch immer der grösste und innere Theil der Platte einheitlich und in der oben erwähnten Lage des Blättchens aus, am Rande indess zeigen sich Feldertheilungen. Dieselben richteten sich vollständig nach der äusseren Begrenzung der Platte, die durch $\infty P\!\!\!/\infty$ (100), $0P$ (001), $P\!\!\!/\infty$ ($\bar{1}01$), $2P$ ($\bar{2}21$) zu Stande kommt. Von jeder Begrenzungs-

linie als Basis erstreckt sich ein Feld ins Innere des Spaltblättchens. Die Aussenfelder stossen z. Th. mit scharfen, z. Th. mit verwaschenen Rändern aneinander. Letztere finden sich nur bei den Sectoren, welche sich an die Pyramidenflächen anschliessen. Das grosse Innenfeld setzt sich von den äusseren Sectoren nicht durch scharfe Grenzen ab. Die verschiedene Auslöschung der einzelnen Felder lässt diese Zertheilung aufs Beste erkennen und auch bei der Betrachtung mit dem Gypsblättchen vom Roth I. Ordnung tritt die Differenzirung aufs Prächtigste hervor. Die Verschiedenheit der Lage der optischen Axenebene ist in den Feldern z. Th. recht beträchtlich, z. B. machte in der soeben beschriebenen Platte diese Ebene in dem Felde, welches an $0P(001)$ sich anschloss, einen Winkel von ca. 25° mit der Klinodiagonale, während sie in dem $\infty\bar{P}\infty$ (100) zugehörigen Sector mit der $\grave{a}$-Axe einen Winkel von ca. 50° einschloss. In allen Feldern der qu. Platte liegt die Ebene der optischen Axen jedoch im stumpfen Winkel der Axen $\grave{a}$ und $\grave{c}$. Ähnliche Erscheinungen bieten nun auch die Spaltblättchen des Andreasberger Krystalls dar, welche sich mehr und mehr der Krystallmitte nähern. Stets schliessen sich die Aussenfelder an die Begrenzungselemente der Platte an. Ihre Grösse wechselt mithin auch mit diesen. Das Innenfeld, welches auf dem äussersten Blättchen allein zu sehen war, wird in den aufeinander folgenden Blättchen immer kleiner und ist auf dem Schnitt, der die Krystallmitte trifft, schliesslich gänzlich verschwunden. Entsprechend sind die Aussenfelder gewachsen. Betrachtet man nunmehr die Spaltstückchen, welche der andern $\infty R\infty$ (010)-Fläche allmählich näher rücken, so gewahrt man den umgekehrten Verlauf der Erscheinung. Die Aussenfelder nehmen an Grösse ab, das Innenfeld wird grösser, bis es auf dem äussersten Blättchen wieder die ganze Fläche erfüllt« (3).

Diese verhältnissmässig einfachen Erscheinungen können durch verschiedene Eigenthümlichkeiten complicirter werden. Die Aussenfelder löschen oft nicht einheitlich aus, sondern bald undulös, bald enthalten sie Partien, die von ihrer Umgebung um 5°—10° und mehr in ihrer Auslöschungsrichtung abweichen. Das an $0P(001)$ sich anschliessende Aussenfeld erscheint zuweilen in zwei Hälften getheilt, die durch unregelmässig verlaufende und verwaschene Grenzen von einander getrennt sind. Das Mittelfeld sieht im polarisirten Licht zuweilen wie gefleckt aus, oder es wird von scharfen Linien durchzogen, welche Felder mit wenn auch nur wenig von einander abweichender Auslöschung sondern.

Ganz ähnlich wie die Krystalle von Andreasberg verhalten sich die von Island und Viesch. Die aus dem Fassathal erscheinen am einheitlichsten.

»Das Gesetz der Feldertheilung, das bei den Krystallen von Viesch wohl am leichtesten zu erkennen ist, ist nach den obigen Beobachtungen (von Rinne) nachstehendes. Die Heulanditkrystalle sind aus optisch verschieden orientirten Theilen aufgebaut, und zwar schickt jede Krystallfläche ins Innere des Krystalls einen Sector, dessen Spitze im Centrum des Individuums ruht. Die Sectoren zeigen verschiedene Lagen der Auslöschungsrichtungen auf der allen gemeinsamen Spaltfläche und sind auch in sich nicht einheitlich aufgebaut« (3).

Dies Verhalten erinnert so sehr an das der rhombischen, durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle (vergl. p. 312), dass man versucht sein möchte zu vermuthen, dass auch im monoklinen Heulandit die bei gewöhnlicher Temperatur zu beobachtenden Anomalien durch isomorphe Beimischung hervorgerufen werden. In der That hat P. Jannasch (3. p. 44) gefunden, dass die sämmtlichen von ihm analysirten Vorkommen einen kleinen Strontiangehalt zeigen. Dieser Strontiangehalt schwankt zwischen 0,35% und 3,65% SrO. Das Maximum von 3,65% giebt der oben besprochene Heulandit von Andreasberg, der rothe aus dem Fassathal hat 1,60 SrO, der von Berufjord hat im Mittel 0,60, und der vom Teigarhorn in Island 0,35 SrO ergeben. Es kann also fast die Hälfte des Calciums im Heulandit durch Strontium ersetzt werden. Ich halte es daher für möglich, dass die Anomalien durch die isomorphe Beimischung hervorgerufen werden.

Besonders auffallend sind die beim Erwärmen eintretenden Änderungen der optischen Eigenschaften, die hier kurz erwähnt sein mögen.

Schon Des Cloizeaux hatte gefunden, dass beim Erwärmen auf ungefähr 100° der Axenwinkel sich um die erste Mittellinie verkleinert, um sich dann beim weiteren Erwärmen in einer zur vorigen Axenebene senkrechten Ebene zu vergrössern. Später konnte er auch eine geringe Drehung der optischen Axenebene für die rothen Strahlen beim Erwärmen der Spaltblättchen von 15° bis ungefähr 80° wahrnehmen. Mallard konnte nachweisen (1), dass es nicht die Temperatur, sondern der Wasserverlust ist, welcher die optischen Veränderungen im Heulandit bewirkt; durch Liegen an feuchter Luft kehren allmählich die früheren Eigenschaften wieder, während in den von Canadabalsam umgebenen Präparaten die angenommenen Eigenschaften erhalten bleiben. Die von W. Klein (2) angestellten Versuche deuten indess darauf hin, dass die Veränderungen der optischen Eigenschaften von beiden Factoren, dem Wasserverlust und der Temperatur abhängen, denn es hat sich durch Gewichtsbestimmung gezeigt, dass der rücklaufende Process auch dann eintritt, wenn die Wasseraufnahme weit geringer ist als die Abgabe.

F. Rinne hat weiter gefunden, dass beim Erwärmen auch eine sehr beträchtliche Drehung der optischen Axenebene stattfindet und dass in den verschiedenen Feldern die Drehung verschieden stark ist. Am besten lässt sich dies bei parallelem Licht verfolgen.

»Nun ist es sehr eigenthümlich zu sehen, dass die Ebene der optischen Axen in den verschiedenen Sectoren sich sehr verschieden schnell dreht. Es ist dies schon bei niedrigen Temperaturen durch Messung der Auslöschungsschiefen in den einzelnen Feldern vor und während der Erwärmung leicht zu constatiren. Am prägnantesten ist es aber festzustellen, wenn man bis auf ca. 150° erwärmt. Bei dieser Temperatur fallen nämlich sämmtliche Auslöschungen der verschiedenen Felder, die vorher so sehr differirten, zusammen, ein deutlicher Beweis dafür, dass die Drehung der optischen Axenebene eine recht verschiedene an den einzelnen Stellen der Platte gewesen ist. Ein weiterer Umstand erhöht das Interesse an dieser merkwürdigen Erscheinung.

Erhitzt man nämlich die Platte über die soeben erwähnte Temperatur hinaus allmählich fort, so findet kein weiteres Wandern der Auslöschungsrichtungen statt. Die Auslöschung bleibt für die ganze Platte einheitlich, die Differenzirung in Felder mit verschiedener Auslöschungsschiefe hat aufgehört und tritt beim weiteren Erhitzen der Platte bis zum Trübwerden, das natürlich den Beobachtungen im durchfallenden Licht ein Ende macht, nicht wieder auf« (3).

Sobald die Auslöschungsrichtungen innerhalb einer Platte zusammenfallen, sind sie auch parallel und senkrecht zu einer vorhandenen Kante orientirt, und zwar in den Krystallen der verschiedenen Fundorte in zweierlei verschiedener Weise. Bei den Krystallen von Island und von Viesch tritt die Orientirung der Auslöschungsrichtungen zur klinodiagonalen Kante von $2P(\bar{2}21)$ ein, bei denen von Andreasberg zur Kante $0P(001):\infty R\infty(010)$, welche zur ersten nahezu senkrecht ist. Bei Annahme des rhombischen Systems würden beide Kanten die Richtungen zweier krystallographischen Axen andeuten.

Der Wasserverlust bei 150° beträgt nach Ermittlung von P. Jannasch (3) 5,97%, was annähernd dem Fortgang von zwei Molekülen Wasser, die 5,74% Verlust erfordern, entspricht. »Diese Thatsache befestigt die Meinung, zu welcher man auf Grund des erwähnten optischen Verhaltens der Heulanditkrystalle kommt, die Ansicht, dass der Heulandit bei einem Wasserverlust von zwei Molekülen, der durch eine Erhitzung auf 150° bewirkt werden kann, aus dem monoklinen ins rhombische System übergeht und in diesem auch bei weiterem Wasserverlust bis zum Trübwerden seiner Substanz verharrt. Setzt man die ins rhombische System übergegangenen Krystalle der Einwirkung des Wasserdampfes der Luft aus, so stellt sich unter Wasseraufnahme der monokline Zustand allmählich wieder her, während vor dem Einfluss des Wasserdampfes durch Einschliessen in wasserfreie Mittel bewahrte Platten beliebig lange im rhombischen Gleichgewicht erhalten werden können« (3).

Die Veränderungen, welche der Heulandit beim Erhitzen nach den neuesten Beobachtungen von F. Rinne (4) erleidet, sind die folgenden:

»1) Unerhitzte Krystalle: Monoklin. Ebene der optischen Axen senkrecht zum seitlichen Pinakoid. Erste, positive Mittellinie in Axe b. Feldertheilung auf dem seitlichen Pinakoid.

2) In Öl gekochte Krystalle. Rhombisch. Ebene der optischen Axen parallel dem seitlichen Pinakoid. Negative Mittellinie senkrecht $0P(001)$. Keine Feldertheilung auf dem seitlichen Pinakoid.

3) Bis zur vollzogenen Trübung erhitzte Krystalle. Rhombisch. Ebene der optischen Axen senkrecht zum seitlichen Pinakoid. Positive Mittellinie senkrecht $\bar{P}\infty(\bar{1}01)$. Feldertheilung auf dem seitlichen Pinakoid.

4) Stark erhitzte Krystalle. Rhombisch. Schwache Doppelbrechung. Ebene der optischen Axen senkrecht zum seitlichen Pinakoid. Positive Mittellinie senkrecht $\bar{P}\infty(\bar{1}01)$. Keine Feldertheilung auf dem seitlichen Pinakoid . . . . .

»Während, wie bekannt, die bis auf niedrige Temperaturen bis zur ersten Umänderung erhitzten Heulanditblättchen in ihren ursprünglichen Zustand zurückkehren, falls ihnen Gelegenheit gegeben wird, das verlorene Wasser wieder aufzunehmen, war dies bei den stärker erhitzten Heulanditblättchen nach einem viertägigen Liegen an der Luft nicht eingetreten.«

Mellit (Honigstein).

Literatur.

1. Jenzsch. Jahrb. d. Königl. Akad. etc. zu Erfurt. Neue Folge, Heft II. 1861.
2. A. Breithaupt. P. A. 121. p. 328. 1864.
3. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 15. 1867. P. A. 126. p. 411.
4. E. Mallard. Anom. opt. p. 144—146. 1876.

Eine Platte parallel der Basis zerfällt im parallelen polarisirten Licht in vier Felder, welche in den Diagonalen mit scharfen Grenzen zusammenstossen; in jedem ist die kleinste Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante. Dieselbe Lage hat die Ebene der optischen Axen; der optische Charakter des Honigstein ist also negativ, was auch die directe Prüfung im convergenten Lichte ergiebt. Der Winkel der optischen Axen schwankt zwischen 0° und etwa 10°. Schwache Dispersion glaubt man zu bemerken, Des Cloizeaux fand $2E = 8° 22'$ für Roth, $9° 7'$ für Blau (3). Durch Erwärmen bis auf 95,5° treten keine merkbaren Änderungen im optischen Verhalten und in der Grösse des Axenwinkels ein (3).

Die im polarisirten Licht hervortretenden Grenzen kann man schon im gewöhnlichen Licht ohne Vergrösserung erkennen; die Krystallmasse scheint in den Diagonalebenen etwas klarer zu sein, als in den übrigen Theilen, ist aber auch hier klar und durchsichtig.

Es deutet dies darauf hin, dass die Masse in den durch die Octaëderkanten gehenden Ebenen ein wenig anders beschaffen ist, als in den Zwischenräumen; sie ist in diesen gewissermassen etwas schlierig. Wodurch dies gekommen ist, wissen wir nicht, vielleicht durch Wachsthumsstörungen ähnlich wie bei Flussspath und eventuell bei Milarit.

Milarit.

Literatur.

1. G. Tschermak bei E. Ludwig. Über den Milarit. T. M. M. 1877. p. 350—352.
2. A. Des Cloizeaux. N. Jb. 1878. p. 41.
3. —— N. Jb. 1878. p. 371.
4. E. Bertrand. De l'application du Microscope à l'étude de la Minéralogie. Bull. min. IV. p. 10. 1881.

5. E. Mallard. De l'action de la chaleur sur les substances cristallisées. Bull. min. V. p. 244. 1882.
6. F. Rinne. Über Milarit, Apophyllit und Rutil. N. Jb. 1885, II. p. 1—19.
7. W. Ramsay. Über das Verhalten des Milarits beim Erhitzen. Referat in Z. Kr. XII. p. 521. 1887.

Der Habitus der Milaritkrystalle ist hexagonal; die Flächen werden als $\infty P2\,(11\bar{2}0)$, $P\,(10\bar{1}1)$, $0P\,(0001)$ und $\infty P\,(10\bar{1}0)$ gedeutet, die letztere Form tritt nur untergeordnet auf. Die Beschaffenheit der Flächen gestattet keine ganz genauen Messungen, jedoch ist soviel mit Sicherheit zu ermitteln, dass die Winkelwerthe sehr annähernd hexagonaler Symmetrie entsprechen. Die geringen Abweichungen würden wegen der nicht tadellosen Flächenbeschaffenheit uns nicht berechtigen, den Milarit in ein anderes als das hexagonale System zu versetzen. F. Rinne hat an einem Krystall folgende Messungsresultate erhalten:

1) Basis zur Pyramide: 142° 36′ 30″; — 30′; — 31′; — 38′ 30″; — 38′; — 44′.
2) Pyramide zu Pyramide (über die Basis weg): 105° 18′; — 8′; — 15′.
3) Pyramide zu Pyramide (Polkante): 144° 33′; — 27′; — 36′; — 36′; — 40′; — 36′.

Berechnet man aus dem Mittel der Werthe unter 1) = 142° 36′ 20″ die unter 2) und 3), so erhält man:

2) 105° 12′ 40″. 3) 144° 38′ 46″.

Den Winkel des Prismas fand G. Tschermak im Mittel zu 120° 1′ 20″, die besten Flächen gaben 120° 9′, während die andern zwischen 119° 49′ und 120° 11′ schwankten.

Die optischen Eigenschaften sind nicht die normaler hexagonaler Krystalle; die Anomalien haben wir zuerst durch G. Tschermak, am genauesten durch F. Rinne kennen gelernt, dessen Beschreibung wir folgen.

Das optische Verhalten der Platten ist verschieden, je nachdem sie von den Enden der Krystalle oder mehr aus der Mitte entnommen sind.

Schliffe, welche die Polkanten der Pyramide durchschneiden und Krystallen der Combination der Säule mit der Pyramide entnommen sind, zerfallen im parallelen polarisirten Licht in sieben Felder (Fig. 145, Taf. VI). Von den sechs Umgrenzungselementen erstrecken sich sechs Sectoren ins Krystallinnere und lassen ein siebentes, inneres hexagonales Feld frei, dessen Umgrenzungen denen des Schliffes parallel gehen. Dasselbe bleibt bei gekreuzten Nicols in allen Stellungen der Platte dunkel oder hellt nur an einzelnen Stellen auf. Die äusseren Sectoren löschen nur selten einigermassen einheitlich und dann senkrecht und parallel zu ihrer äusseren Begrenzung aus. Häufig hingegen ist es leicht, den betreffenden Sector in eine solche Stellung zu bringen, dass eine, z. B. die rechte von den beiden Hälften des durch eine in der Mitte seiner äusseren Begrenzung errichtete Normale getheilten Sectors auslöscht, während die linke noch ein wenig aufgehellt ist, so dass eine Zweitheilung desselben

bei verwaschener Grenze der Theile zu erkennen ist. In jedem Feld ist die kleinste optische Elasticitätsaxe nach der Randkante hin gerichtet. Bisweilen zeigt auch das Mittelfeld Sechstheilung.

Wenn die Schliffe durch die Prismenflächen dicht unterhalb der Pyramidenflächen durch den Krystall gelegt sind, so treten zu den bisherigen Feldern sechs weitere hinzu. Die Randkanten des Schliffes sind jetzt die Schnittlinien der Säule, von jeder geht ein Feld in das Innere, welches parallel und senkrecht zur Randkante auslöscht. Da aber das Prisma anderer Stellung ist wie die Pyramide, so liegen die Prismenfelder gegen die Pyramidenfelder verwendet (Fig. 146). Die Grenzen der Pyramidenfelder sind nach der Mitte der Randkanten gerichtet, die der Prismenfelder nach den Ecken. Auch ist in den Prismenfeldern nicht mehr die kleinste optische Elasticitätsaxe nach den Randkanten hin gerichtet, sondern die grösste. Je weiter die Schliffe nach der Mitte des Krystalls zu rücken, desto mehr verschwinden die inneren Felder, bis schliesslich die von den Prismenflächen ausgehenden Felder den ganzen Raum einnehmen.

Ist neben dem immer vorherrschenden Prisma der zweiten Stellung auch noch das der ersten Stellung am Krystall ausgebildet, so geht von jeder seiner kleinen Flächen ein entsprechend kleines Feld in das Innere, fehlt die Säulenfläche an irgend einer Kante, so fehlt auch das zugehörige Feld (vergl. Fig. 146).

Führt man Schnitte senkrecht zu der Säulenerstreckung durch Krystalle, die ausser Prisma und Pyramide noch die Basis aufweisen, so kommt der Fall vor, dass dünne Schliffe, bei denen eine Schlifffläche die natürliche Basisfläche darstellt, die also ganz peripher liegen, bei gekreuzten Nicols in jeder Stellung völlig dunkel erscheinen und auch bei der Betrachtung mit dem Gypsblättchen keinerlei Differenzen aufweisen. In anderen Schliffen zeigt auch dieses Feld schon sehr complicirte Feldertheilung.

Die in den Basisschliffen hervortretende Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung ist auch in Schliffen parallel den Prismenflächen zu erkennen. Ein Schliff, welcher die natürliche Oberfläche einer Prismenfläche enthält, polarisirt einheitlich und löscht parallel der Längsrichtung aus. In Schliffen, welche mehr durch die Mitte des Krystalls gehen, heben sich von den beiden anliegenden Prismenflächen und den durchschnittenen Pyramidenflächen ausgehende Felder ab, welche um so grösser werden, je mehr die Schliffe der Krystallmitte sich nähern. Alle diese Felder löschen gleichzeitig aus, wenn die Längsrichtung der Krystalle mit einer Schwingungsrichtung der Nicols zusammenfällt. Ist an dem Krystall die Basis vorhanden, so geht auch von ihr ein Feld in das Innere des Schliffes. Diese Schliffe sind in Hinsicht ihrer Feldertheilung zu vergleichen mit den Schliffen aus der Prismenzone des Vesuvian (vergl. Fig. 125).

Wenn die Krystalle von Milarit längere Zeit der Rothgluth ausgesetzt werden, so werden sie dauernd einaxig (7).

Die natürlichen und künstlichen Ätzfiguren sprechen für hexagonale Symmetrie des Milarit (6).

Wenn man das optische Verhalten des Milarit erklären will, so muss man vor allem die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung berücksichtigen. Diese Abhängigkeit, welche namentlich da hervortritt, wo zu dem Prisma der zweiten Stellung das der ersten hinzutritt, spricht gegen die Annahme von G. Tschermak, Mallard und andern, dass der Milarit rhombisch, mimetisch-hexagonal sei. »Niemals«, bemerkt F. Rinne mit Recht, »wird man bei in der That mimetischen Krystallen, d. h. solchen, die in ursprünglicher Anlage zwillingsmässig aus Theilen niederer Symmetrie zusammengesetzt sind, und auf solche Weise eine höhere nachahmen, einen solchen Zusammenhang, wie er beim Milarit auf die anschaulichste Weise hervortritt, zu Gesicht bekommen. — Erinnert man sich, dass die optischen Hülfsmittel zwar mit ausserordentlicher Schärfe ausgestattet erscheinen und deshalb die kleinsten Elasticitätsunterschiede nach verschiedenen Richtungen zur Anschauung bringen, aber auch, eben in Folge dieser Feinheit, von grosser Empfindlichkeit gegen secundäre Einflüsse sind, so wird man ohne jede gezwungene Erklärung im Stande sein, die optische Structur der Milarite unter sich, sowie mit den Ätzfiguren, die einen verhältnissmässig stabilen Charakter besitzen, und mit der geometrischen Gestaltung durch nachstehende Deutung, auf welche mithin die thatsächlichen Verhältnisse selbst führen, in Einklang zu bringen. Den Milaritkrystallen kommt als ursprüngliche Gleichgewichtslage die hexagonale zu.

»Durch secundäre Umstände ist ein Zerfall derselben in Theile niederer Symmetrie angebahnt; und zwar ist dieser Zerfall ein für jedes Krystallindividuum eigenthümlicher, denn er ist nach den Begrenzungselementen eingetreten.«

Was für secundäre Umstände es beim Milarit waren, »kann, wie es in der Natur der Sache begründet liegt, nur Vermuthung bleiben. Doch liegt es nahe, einen Druck der Oberflächentheile auf das Krystallinnere und einen solchen des durch Bildung natürlicher Ätzfiguren deutlich heraustretenden Krystallgerüstes auf die Zwischensubstanz in Anspruch zu nehmen. Dadurch wird die innige Verknüpfung der Flächenausbildung der Krystalle mit dem durch optische Mittel erkannten Aufbau aus Sectoren erklärlich«.

Das optische Verhalten des Milarit erinnert so sehr an das durch isomorphe Beimischung anomaler Krystalle, z. B. des Vesuvian, dass man versucht sein könnte, in ihm isomorphe Beimischung zu vermuthen. Die chemische Zusammensetzung ist nach E. Ludwig (1):

	Berechnet	Gefunden (Mittel)
SiO_2	72,66 %	71,81 %
Al_2O_3	10,39	10,67
CaO	11,30	11,65
K_2O	4,74	4,86
H_2O	0,91	1,36
Summe =	100,00	100,35

Nach den Ergebnissen der Analyse wird die chemische Zusammensetzung des Milarits durch die kleinste Formel



$$Si_{12}\,Al_2\,Ca_2\,K\,H\,O_{30}$$

ausgedrückt. Hieraus muss man nicht auf isomorphe Beimischung schliessen. Wenn die Anomalien nicht durch isomorphe Beimischung hervorgerufen werden, sondern etwa in der Weise, wie Rinne meint, entstanden sind, so würden wir im Milarit ein Beispiel dafür haben, dass ganz ähnliche Anomalien wie durch isomorphe Beimischung auch durch andere Ursachen entstehen können.

Perowskit.

Literatur.

1. A. Des Cloizeaux. Ann. des Mines. Sér. V. T. XIV. p. 117. 1858; auch P. A. 126. p. 120. 1865.
2. P. Hautefeuille. A. Chim. (4) IV. p. 163. Kenngott, Übersicht etc. für 1865. p. 235.
3. A. Kenngott. Mineralien der Schweiz. p. 236. 1866.
4. A. Des Cloizeaux. Nouv. rech. p. 84. 1867.
5. Hessenberg. Mineralog. Notizen. Neue Folge, 7. Heft. p. 42.
6. N. v. Kokscharow. Materialien z. Mineralogie Russlands. VI. Bd. p. 388—407. 1871.
7. G. vom Rath. P. A. 144. p. 595. 1872.
8. N. v. Kokscharow. Materialien etc. VII. Bd. p. 375—380. 1875.
9. A. Des Cloizeaux. N. Jb. 1875. p. 279.
10. —— N. Jb. 1877. p. 160.
11. —— N. Jb. 1877. p. 499—504.
12. N. v. Kokscharow. N. Jb. 1878. p. 38—39.
13. A. Des Cloizeaux. N. Jb. 1878. p. 43.
14. N. v. Kokscharow. Materialien etc. Bd. VIII. p. 39—43. 1878.
15. H. Baumhauer. Über den Perowskit. Z. Kr. IV. p. 187—200. 1880.
16. A. Ben-Saude. Über den Perowskit. Preisschrift. Göttingen 1882.
17. E. Mallard. Action de la chaleur sur les cristaux pseudo-symétriques. Bull. min. V. p. 233. 1882.
18. G. Tschermak. T. M. M. V. p. 194—196. Besprechung der Arbeit von Ben-Saude.
19. A. Brun. Mineralchemische Notizen. Referat in Z. Kr. VII. p. 389. 1883.
20. C. Klein. Perowskit von Pfitsch in Tyrol. N. Jb. 1884, I. p. 245—250.
21. A. Sauer. Perowskit von Wiesenthal. Z. g. G. 37. p. 447. 1885.
22. E. Mallard. Sur les hypothèses diverses proposées pour expliquer les anomalies optiques des cristaux. Bull. min. IX. p. 61. 1886.

Das optische Verhalten des Perowskit haben wir in der neueren Zeit besonders durch A. Ben-Saude und C. Klein kennen gelernt; wir haben aber gesehen, dass die Anomalien schon vorher anderen aufgefallen waren und zu verschiedenen Erklärungsversuchen geführt hatten (vergl. p. 36).

Wie schon Ben-Saude hervorhebt, bestehen gewisse Beziehungen zwischen dem optischen Verhalten des Perowskit und dem von Boracit; jedoch sind die Verhältnisse bei Perowskit durch eingelagerte, anders orientirte

Lamellen in der Regel viel complicirter. Zur Erkennung der Structur sind Würfel- und Dodekaëderschliffe besonders geeignet, die sich nach der Beschreibung von A. Ben-Saude und C. Klein wie folgt verhalten.

Schliffe parallel dem Würfel

sind von zwei zu einander senkrechten Lamellensystemen durchzogen, die den Seiten des Würfels parallel laufen und in der Richtung der Würfelflächendiagonalen auslöschen; ihre Doppelbrechung ist immer recht kräftig. Dazwischen liegen unregelmässig begrenzte Theile, welche auf das parallel polarisirte Licht nur schwache Wirkung ausüben. Im convergenten Licht tritt in diesen eine zur Würfelfläche normale optische Axe aus; die auftretende Barre kann in den verschiedenen Theilen zwei zu einander senkrechte Stellungen haben; wenn die Richtungen der Würfelkanten mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen, sind die Barren normal zu den Kanten gerichtet (Fig. 151, Taf. VI), wie in Boracit. In Gegensatz zu Boracit kommen in seltenen Fällen (Perowskit von Pfitsch, 20) in den Würfelschliffen Stellen vor, die senkrecht zur ersten Mittellinie sind und beide optische Axen austreten lassen; auch solche Theile können sich durchkreuzen; alsdann liegt die Axenebene in den einen Lamellen parallel der einen Kante des Würfels, in den andern Lamellen parallel der andern, zur ersten normalen Würfelkante. Der Axenwinkel ist schwankend, manchmal von geringen, an die Einaxigkeit erinnernden Werthen, manchmal grösser, so dass die Erscheinung deutlich zweiaxig wird.

Schliffe parallel dem Dodekaëder

sind von drei Lamellensystemen durchzogen; das eine löscht aus, wenn die Richtungen der Diagonalen der Dodekaëderflächen mit den Schwingungsrichtungen der Nicols zusammenfallen, die beiden andern löschen in einer um 45° hiervon verschiedenen Lage aus. Im convergenten Licht lassen die nach den Diagonalen auslöschenden Theile den Austritt zweier Axen mit zur Oberfläche senkrechten ersten Mittellinie erkennen (Fig. 152); der optische Charakter ist negativ. Das Verhalten ist wieder analog dem des Boracit. Da die Ebene der optischen Axen senkrecht zur Dodekaëderfläche ist und die optischen Axen normal zu den Würfelflächen sind, so ist im Perowskit wie im Boracit der innere Winkel der optischen Axen 90°.

Schliffe parallel dem Octaëder

sind meist von drei, den Randkanten parallel laufenden Lamellensystemen durchzogen, welche parallel zu den drei Randkanten auslöschen und im convergenten Licht den Austritt einer excentrischen Barre erkennen lassen.

Die Ätzfiguren sind von H. Baumhauer (15) und A. Ben-Saude (16) zur Entscheidung der Frage nach dem Krystallsystem des Perowskit verwerthet

worden. Beide haben im wesentlichen gleiches beobachtet, stimmen aber in ihren Deutungen nicht überein.

Wenn die Würfelflächen von Perowskit mit Flusssäure geätzt werden, so entstehen auf den diagonal auslöschenden Theilen Vertiefungen von rhombischem Umriss, deren Diagonalen in die Richtung der Würfelflächendiagonalen fallen (Fig. 153, Taf. VI).

Werden die Würfelflächen mit Kaliumhydroxyd geätzt, so erscheinen auf denselben Theilen quadratisch gebildete Figuren, deren Begrenzungen zu den Würfelkanten unter 45° stehen.

Auf den zu einer optischen Axe normalen Theilen erscheinen durch Ätzung mit Flusssäure Ätzfiguren, die wie es scheint monosymmetrisch sind (Fig. 153).

A. Ben-Saude ist nun der Ansicht, dass die Ätzfiguren nicht zur Bestimmung des Krystallsystems des Perowskit verwerthet werden können. Ich habe aber aus seiner Arbeit nicht die Überzeugung gewinnen können, dass ein stichhaltiger Grund hierfür vorliegt. Ich muss mich vielmehr der Ansicht von H. Baumhauer anschliessen, dass die Ätzfiguren mit dem regulären System nicht vereinbar sind, dass sie ein weniger symmetrisches, wahrscheinlich rhombisches System anzeigen; auch die genauere Erklärung, welche Baumhauer gegeben hat, halte ich für richtig. Die rhombischen Ätzfiguren würden auf eine rhombische Pyramide zu beziehen sein, die quadratischen würden von den Flächen eines Makro- und eines Brachydomas gebildet werden und die, welche auf den zu einer optischen Axe normalen Theilen auftreten, würden von Prismenflächen begrenzt sein.

Durch die Form und Vertheilung der beobachteten Ätzfiguren, unter Berücksichtigung des optischen Verhaltens, ist Baumhauer zu folgender Auffassung der Perowskitform geführt worden. Der Perowskit ist rhombisch; $\infty O \infty$ wird zu $0P$ und ∞P; ∞O zu P, $\infty \bar{P} \infty$ und $\infty \breve{P} \infty$, und O wird zu $\bar{P}\infty$ und $\breve{P}\infty$. Ferner findet Zwillingsbildung nach zwei Gesetzen statt; das erste, welches bei den Krystallen von Zermatt vorherrscht, lautet: Zwillingsebene ∞P, das andere, welches bei denselben mehr zurücktritt: Zwillingsebene P.

Dieser Ansicht von Baumhauer hat sich N. von Kokscharow[1]) sehr bald angeschlossen, nachdem er schon vorher die Überzeugung gewonnen hatte, dass der Perowskit rhombisch sein müsse (vergl. oben p. 37). Auch G. Tschermak und P. Groth theilen diese Ansicht.

Für jetzt ist es nicht möglich, eine bessere Erklärung zu geben; vielleicht besteht der Perowskit nicht aus rhombischen, sondern monoklinen Theilkrystallen, aber regulär ist er wahrscheinlich nicht. Die wegen der sonst vorhandenen Analogie mit Boracit naheliegende Vermuthung, dass die Substanz des Perowskit dimorph sei und durch irgend welche Einflüsse aus der regulären Modification innerhalb der Form in die rhombische übergegangen sei, entbehrt bis jetzt der Bestätigung. Die angestellten Erwärmungsversuche

1) Materialien etc. Bd. VIII. p. 39—48. 3. Anhang zu Perowskit.

haben kein positives Resultat ergeben. Ich habe z. B. einen Schliff von Perowskit im Erhitzungsapparat so erhitzt, dass die eine Hälfte rothglühend war, die andere nicht, konnte aber keinen Unterschied im optischen Verhalten beider Hälften erkennen; beide Hälften waren in der Hitze ebenso doppelbrechend wie vor dem Erwärmen.

Pharmakosiderit (Würfelerz).

Literatur.

E. Bertrand. Propriétés optiques de la Beudantite et de la pharmacosidérite. Bull. min. IV. p. 255—257. 1881.

Der Pharmakosiderit wird bisher als regulär-tetraëdrisch betrachtet. Die Kryställchen sind begrenzt von dem Würfel, dessen Flächen in der Regel nach einer Diagonale geknickt sind, dem Tetraëder und bisweilen noch von dem Gegentetraëder und Granatoëder. Messungen scheinen in der neueren Zeit nicht vorgenommen zu sein, wenigstens habe ich in der mir zugänglichen Literatur nichts gefunden. Im allgemeinen ist auch das Material zu genauen Messungen wegen der Flächenknicke nicht geeignet. An einem kleinen Würfel von Cornwall z. B. bekam ich Werthe zwischen 88° 33½′ und 90° 57′, an einem andern dagegen betrugen die Abweichungen von 90° nur zwei Minuten.

Von E. Bertrand ist der Pharmakosiderit als doppelbrechend erkannt und für pseudoregulär erklärt worden. Alle Krystalle von verschiedenen Fundorten zeigten in Schliffen parallel dem Würfel, im polarisirten Licht untersucht, dass sie aus sechs Individuen aufgebaut sind. Bisweilen war jedes Individuum in sich wieder aus kleinen, in Zwillingsstellung befindlichen Theilen zusammengesetzt, die sich unter 90° durchkreuzen und eine an Mikroklin erinnernde Structur hervorbringen. Das System der Elementarkrystalle konnte Bertrand nicht bestimmen.

Nach unsern besonders an Krystallen aus Cornwall angestellten Beobachtungen zeigen Schliffe parallel den Würfelflächen das folgende Verhalten:

In allen genügend dünnen Schliffen treten deutlich vier, von den Randkanten ausgehende Felder hervor, die an den Diagonalen mit scharfen Grenzen aneinander stossen und nach dem Innern zu mit mehr oder weniger scharfen Grenzen in ein Mittelfeld übergehen, dessen Grenzlinien den äusseren Würfelkanten parallel gehen (Fig. 147, Taf. VI). Die Auslöschungslage des Mittelfeldes ist von der der Randfelder verschieden.

Der Kern des Mittelfeldes löscht in der Diagonalstellung der Platte aus; die Auslöschung ist meist recht vollständig, bisweilen zeigt sich schwache Zweitheilung nach einer Diagonale, indem die eine Hälfte eine etwas andere Auslöschungslage besitzt, als die andere. Dadurch, dass die Zweitheilung in derselben Weise sich wiederholt, erscheint das Mittelfeld in der Richtung einer Diagonale gestreift. In der Normalstellung der Platte wird das Mittelfeld einheitlich hell, die kleinste optische Elasticitätsaxe fällt in die Richtung

derjenigen Diagonale, nach welcher die Zweitheilung erfolgt. Im convergenten Licht ist nichts bestimmtes zu sehen.

Die äusserste, bald nur schmale, bald etwas breitere Zone der Randfelder löscht in der Normalstellung der Platte aus und ist in der Diagonalstellung hell, während das Mittelfeld in dieser Lage dunkel ist. In der Regel ist in jedem der Randfelder die kleinste optische Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante, bisweilen an einzelnen Stellen auch parallel zu ihr; dann greifen beide optisch verschiedenen Theile unregelmässig in einander.

Zwischen der äussersten Zone der Randfelder und dem Kern des Mittelfeldes liegen oft Theile, welche sich verschieden verhalten und hierdurch die Zwischenzone den Randkanten parallel gestreift erscheinen lassen. Einzelne Streifen löschen gleichzeitig mit dem Mittelfeld in der Diagonalstellung der Platte aus, andere gleichzeitig mit den Randzonen in der Normalstellung der Platte. Andere wieder löschen in einer Zwischenlage verschieden schief zu den Randkanten aus, und manche Streifen löschen überhaupt nicht aus. Die Breite dieser in der Diagonalstellung der Platte am besten hervortretenden Zwischenzone ist verschieden; manchmal ist sie ganz schmal oder fehlt ganz, in andern ist sie so breit, dass sie von dem Kern bis an den Rand geht und einheitlich auslöschende Randfelder gar nicht ausgebildet sind. Dreht man die Platte aus der Diagonalstellung in die Normalstellung, so wird das Mittelfeld um so grösser, je heller es wird. In der Normalstellung sind die Platten oft fast in ihrer ganzen Ausdehnung hell und nur in einer schmalen Randzone dunkel oder halbdunkel.

Durch gelindes Erwärmen treten auffallende Änderungen der optischen Eigenschaften ein. Um dies zu beobachten braucht man nur die in Canadabalsam eingelegten und mit einem Deckgläschen bedeckten Präparate auf einem Wasserbad (einer mit einer Glasplatte bedeckten Abdampfschale) zu erwärmen und schnell unter das Mikroskop zu bringen; man schaltet vorher zweckmässig das Gypsblättchen ein, da die eintretenden Veränderungen erst hiermit deutlich erkannt werden können. Es findet nämlich ein Wechsel der optischen Elasticitätsaxen statt; während vor dem Erwärmen in jedem Randfeld die kleinste Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante ist (Figur 147), hat in der warmen Platte die grösste Elasticitätsaxe diese Lage (Figur 148), und während vorher die Randfelder parallel den Randkanten gestreift waren, sind sie jetzt einheitlich, so dass die Feldertheilung sehr schön hervortritt; der Kern in der Mitte ist, soweit man sehen kann, unverändert geblieben. Diese Veränderungen sind aber nicht dauernd, nach dem Abkühlen verhält sich die Platte wie vorher. Wenn man eine Platte, während sie kalt wird, unter dem Mikroskop beobachtet, so sieht man, wie ganz allmählich die früheren Eigenschaften wiederkehren. Zuerst treten in den Randfeldern bald hier, bald da in der Nähe des Aussenrandes kleine Flecken auf, in denen die kleinste Elasticitätsaxe wieder normal zur Randkante ist. Zusehends werden diese Flecken grösser und bald bilden sie einen den Rand umsäumenden Streifen, der nach innen zu an Breite allmählich zunimmt. Zwischen den beiden

Theilen eines Feldes, in denen die gleichnamigen Elasticitätsaxen senkrecht zu einander sind, befindet sich ein schmaler einfachbrechender Streifen, der mit der Grössenveränderung der Felder sich verschiebt; in ihm sind die beiden Elasticitätsaxen innerhalb der Plattenebene gleich. In einem Zwischenstadium während des Abkühlens zeigt daher eine Platte schöne Zonenstructur in der Diagonalstellung. Der Kern befindet sich in der Auslöschungslage, in den anstossenden Feldern ist die grösste Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante, dann folgt ein einfachbrechender Streifen, und in den nach aussen liegenden Feldern ist die kleinste Elasticitätsaxe senkrecht zur Randkante (Figur 149). Nach vollständigem Erkalten zeigt die Platte dasselbe Verhalten wie vorher. Diese Veränderungen sind nicht etwa die Folge von Wasserverlust und Wasseraufnahme, denn dann müssten sie auch durch Liegen im Exsiccator hervorgerufen werden können, was nicht der Fall ist; auch sieht man im Canadabalsam nichts von ausgetretenem Wasser. Der Verlauf der Erscheinungen deutet vielmehr darauf hin, dass allein durch die Wärme die optischen Eigenschaften geändert werden.

Das beschriebene Verhalten gestattet nun mit einiger Bestimmtheit die Frage zu entscheiden, ob Pharmakosiderit regulär ist oder nicht.

Ein Beispiel dafür, dass die optischen Eigenschaften regulärer, optisch anomaler Krystalle durch Temperaturänderung in ähnlicher Weise wie in Pharmakosiderit geändert werden, ist nicht bekannt. Wenn die Krystalle höherer Temperatur ausgesetzt werden, so werden einige wohl einfachbrechend, nie aber verhalten sie sich wie Pharmakosiderit. Wohl aber giebt es in den andern Systemen doppelbrechende Krystalle, in welchen sich die optischen Elasticitätsaxen durch Temperaturänderung verschieden stark ändern, und wie im Pharmakosiderit erfolgen die Änderungen mit steigender oder fallender Temperatur allmählich. Dies scheint uns darauf hinzudeuten, dass der Pharmakosiderit nicht regulär ist, sondern einem andern System angehört, das noch nicht bestimmt werden konnte.

Sechs Individuen würden sich zu einem pseudoregulären Krystall vereinigen, und sich in der Nähe der Würfelkanten durchdringen; in diesen Bezirken würde theilweise Compensation eintreten können und hierdurch würden jene Erscheinungen entstehen, welche wir in den Randfeldern kennen gelernt haben. In diesen würden die in der Plattenebene gelegenen beiden optischen Elasticitätsaxen nahezu gleich geworden sein. Durch Temperaturerhöhung werden sie verschieden stark geändert, so, dass die vorher kleinere optische Elasticitätsaxe in der Wärme zur grösseren, die grössere aber zur kleineren wird. In einem kurzen Zwischenstadium sind beide Elasticitätsaxen innerhalb eines schmalen Streifens gleich. Bei dem Abkühlen ändern sich die optischen Eigenschaften in umgekehrter Weise, und schliesslich verhält sich der Krystall gerade so wie vor dem Erwärmen.

Rhodizit.

Literatur.

1. E. Bertrand. Propriétés optiques de la Rhodizite. Bull. min. V. p. 31. 1882.
2. —— Sur la forme cristalline de la Rhodizite. Bull. min. V. p. 72—74. 1882.
3. C. Klein. Krystallographisch-optische Untersuchungen, vorgenommen an Rhodizit etc. Sitzgsber. der Königl. Preuss. Akad. der Wissensch. Berlin. Sitzg. v. 26. VI. 1890. p. 713—719. 1890.

Die Krystallform dieses seltenen Minerals wird als regulär-tetraëdrisch angegeben. Die Krystalle sind von $\infty O(110)$ und $\frac{O}{2}(111)$ begrenzt; die Flächen von ∞O sind gewölbt, genaue Messungen daher nicht auszuführen. Das elektrische Verhalten ist ähnlich dem des Boracit.

Die chemische Zusammensetzung kann nach Damour[1]) durch die Formel $K_2O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 3B_2O_3$ ausgedrückt werden.

Das optische Verhalten haben wir zuerst durch E. Bertrand, am ausführlichsten durch C. Klein kennen gelernt, dessen Beschreibung wir folgen; sie bezieht sich nur auf Schliffe nach $\infty O(110)$.

Ein Schliff parallel einer Dodekaëderfläche zeigt nach C. Klein das durch Fig. 150 auf Tafel VI wiedergegebene Verhalten. Er zerfällt im ganzen in sieben, durch die Auslöschungsrichtungen unterschiedene Felder; in der Abbildung sind die Auslöschungsrichtungen in jedem Feld durch zwei unter 90° sich schneidende Linien angedeutet, die kleinere Linie giebt die Richtung der kleineren, die grössere die der grösseren optischen Elasticitätsaxe an. Im Mittelfeld fallen die Schwingungsrichtungen in die Richtung der Diagonalen, in den Randfeldern liegen sie schief zu den Begrenzungselementen, und zwar beträgt die Auslöschungsschiefe in den beiden dreieckigen Feldern rechts und links 10°—12° zur äusseren Kante, in den beiden oberen Feldern 7°—10° zur Grenze der Felder, in den untern Feldern 24°—27° zur Feldergrenze.

Im convergenten Licht beobachtet man im Mittelfeld den schiefen Austritt zweier optischer Axen von grossem Winkel, die Erscheinung ist aber nicht sehr deutlich, da das Mittelfeld, ebenso wie die andern, nicht ganz einheitlich ist. Die Ebene der optischen Axen ist nach Bertrand senkrecht zur Fläche und fällt in die kleine Diagonale; die erste Mittellinie von positivem Charakter steht schief zur Fläche, welche sich demnach optisch etwa wie die Basis eines monoklinen Krystalls verhält.

In der Art der Feldertheilung ist eine gewisse Ähnlichkeit mit der in Dodekaëderschliffen von Boracit zu beobachtenden (vergl. Fig. 10a, Taf. I) nicht zu verkennnen, jedoch besteht ein wesentlicher Unterschied gegen Boracit darin, dass die Ebene der optischen Axen nicht, wie da, in die lange, sondern in die kurze Diagonale der Dodekaëderfläche fällt. Sehr wesentlich verschieden ist auch das Verhalten beider Mineralien beim Erwärmen.

[1]) Bull. min. V. p 98. 1882.

In hoher Temperatur bleiben die optischen Eigenschaften des Rhodizit unverändert. C. Klein hat Schliffe bis zur hellen Rothgluth erhitzt, die optische Structur blieb aber, von ganz unwesentlichen Änderungen abgesehen, immer dieselbe wie vor der Einwirkung der Wärme, so dass diese, wenigstens innerhalb dieser Temperaturgrenzen, ohne Wirkung ist.

Es ist daher bis jetzt nicht möglich, für die Zwienatur des Rhodizit eine befriedigende Erklärung zu geben.

Rutil.

Literatur.

1. A. Madelung. Z. Kr. VII. p. 75.
2. E. Mallard. Anomal. opt. p. 134. 1876.
3. A. von Lasaulx. Über Mikrostructur, optisches Verhalten und Umwandlung des Rutil in Titaneisen. Z. Kr. VIII. p. 63—67. 1884.

Die im Rutil vorkommenden Störungen werden hauptsächlich durch eingelagerte Zwillingslamellen hervorgerufen; die Hauptmasse der Krystalle ist an den von Zwillingslamellen freien Stellen optisch einaxig, hier und da auch schwach zweiaxig. Zur näheren Erläuterung diene die klare Beschreibung A. von Lasaulx's:

»Auch an den Polarisationserscheinungen zeigt sich das Übereinanderliegen verschiedenartiger Lamellen. In Verticalschnitten (oder zur Verticalaxe geneigten) löschen manche Lamellen gar nicht aus, sondern bleiben in jeder Stellung hell. In solchen Fällen liegen verschieden orientirte Theile über einander. . . . . Diese Verhältnisse sind auch der Schlüssel zu den optischen Anomalien, die im convergent-polarisirten Lichte beim Rutil beobachtet werden.

»In den basischen Schnitten zeigt sich in den rechtwinkligen Feldern zwischen den Zwillingsstreifen, d. i. also in Theilen, die auch im parallelen Lichte bei einer Drehung des Präparates keinen Wechsel der Lichtintensität wahrnehmen lassen (sie löschen überhaupt nicht zu voller Dunkelheit aus), mit wenigen Ausnahmen, von denen noch die Rede sein wird, das regelmässige Interferenzbild einer optisch einaxigen Substanz ohne jede Störung. Ganz anders verhalten sich aber die Streifensysteme. Überall ohne Ausnahme erscheint in diesen ein anomales Interferenzbild, das aber keineswegs in allen Streifen übereinstimmt.

»An vielen Stellen gleicht es auf den ersten Blick dem einer zweiaxigen Substanz. Bei einer Drehung des Präparates gehen die Kreuzbalken zwar auseinander, aber ohne eine deutliche Trennung in zwei Hyperbeln. Bei geschlossener Stellung des Balkenkreuzes bilden auch die isochromatischen Linien keine Lemniscaten, sondern stets vollkommene Kreise.

»In anderen Fällen erinnert das sichtbar werdende Interferenzbild, immer innerhalb der Streifen, an das bekannte Axenbild des Brookit, oder ein solches

wie es durch Kreuzung zweier zweiaxiger Platten hervorgerufen werden kann. Das charakteristische Auftreten rother und grüner Farbensäume an den abwechselnden Kreuzbalken, wie es sich beim Brookit zeigt, erscheint auch hier an dem Interferenzbilde, jedoch fast stets mit einseitiger, unsymmetrischer Lage dieser farbigen Streifen.

»In der That glaubte ich zunächst hier wenigstens in einem Theile der eingeschalteten Lamellen Brookit annehmen zu sollen. Dass dieses aber dennoch nicht zutreffend ist, zeigt sich sofort, wenn man das Interferenzbild im monochromatischen rothen oder blauen Lichte erzeugt. Bei Brookit erhält man dann die regelmässigen Axenbilder einer zweiaxigen Substanz, die Axenebene im rothen Lichte normal zu der im blauen Lichte gestellt. Wendet man zur Beleuchtung der Sammellinse des Mikroskopes rothes Lithiumlicht und Lichtstrahlen an, die durch eine Kupfervitriollösung hindurchgegangen, so gelingt es bei den Interferenzbildern der Rutillamellen nicht, dieselben in dieser Weise zu zerlegen. Im Gegentheil, die allgemeine Erscheinung der Bilder bleibt ganz die gleiche in dem einen, wie in dem andern Lichte. Es liegt daher in den Lamellen sicher kein Brookit vor.

»Auffallend erscheint es ferner, dass ohne Ausnahme bei einer Drehung des Präparates in seiner Ebene stets dann, wenn die Hauptschwingungsrichtungen der Lamellen mit den Hauptschnitten der Nicols parallel stehen, das einfache Axenbild der einaxigen Substanz sichtbar wird. Hierin zeigt sich, dass nicht an und für sich zweiaxige Substanz vorliegt, sondern einaxige, deren Axenbild aber durch die Lamellen, wenn sie in diagonaler Stellung zu den Hauptschnitten liegen, gestört wird. . . . .

»Es kommen aber auch einfache Stellen in den basischen Rutilplatten vor, die eine wirkliche schwache Zweiaxigkeit zeigen. Dieselben liegen aber ohne Ausnahme nicht in den Streifensystemen der Zwillingseinschaltungen, sondern nur in den Rechtecken zwischen jenen. Dadurch sind sie von den vorher beschriebenen Interferenzbildern unterschieden, dass die isochromatischen Linien nicht mehr kreisförmig, sondern deutlich elliptisch verlaufen und demnach in keiner Stellung das wirklich einaxige Bild zu erzielen ist. Da aber solche, wenn auch nur schwach zweiaxige Stellen auch in den Zwillingslamellen vorausgesetzt werden können, so wird dadurch die Möglichkeit von Variationen in den in jenen sichtbaren Interferenzbildern nur noch erhöht.

»Die scheinbaren Winkel der optischen Axen in den wenigen zweiaxigen Stellen sind nur sehr klein. Die Ebene der optischen Axen scheint ohne Ausnahme in den Diagonalen der Rechtecke zwischen den Zwillingslamellen, d. i. also in ∞P zu liegen. Dass hier nur eine Spannungserscheinung vorliegt, darf wohl daraus gefolgert werden, dass bei einem Verschieben des Präparates einaxige und zweiaxige Stellen allmälig in einander übergehen. Das Balkenkreuz öffnet sich mehr und mehr bis zum Maximum und schliesst sich ebenso wieder. Eine scharfe Grenze zwischen einaxiger und zweiaxiger Substanz ist nirgendwo zu ziehen. Sehr schön sind die beschriebenen Er-

scheinungen am Rutil von Pfitsch, Lampersdorf, Vannes und St. Yrieux zu beobachten.

»Die anscheinende optische Anomalie am Rutil ist daher grösstentheils gar nicht als eine solche zu bezeichnen. Sie ist die gesetzmässige Folge der durch die Einschaltung von Zwillingslamellen bedingten combinirten Interferenzerscheinungen übereinander liegender einaxiger, aber gegen den basischen Schnitt verschieden geneigter Platten.«

Mallard hatte den Rutil wegen seines optischen Verhaltens — er hat nur die durch eingelagerte Zwillingslamellen hervorgerufenen Störungen beobachtet — für monoklin erklärt. Wir haben keine Ursache, an der quadratischen Natur des Rutil zu zweifeln.

Schlussbetrachtung.

Zum Schluss sei es gestattet, mit wenigen Worten das zusammen zu fassen, was wir jetzt über die Ursachen der optischen Anomalien wissen.

Soviel scheint uns ausser allem Zweifel, dass die Anomalien auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden müssen. Wir theilen hiernach die anomalen Krystalle in drei Gruppen und unterscheiden:

1) Anomalien durch Überlagerung von verschieden orientirten Lamellen.

2) Anomalien bei Dimorphie der Substanz.

3) Anomalien durch innere Spannungen.

Die Krystalle, welche wir zur ersten Gruppe rechnen, gehören den weniger symmetrischen Systemen an, nähern sich aber in ihren Dimensionen höher symmetrischen; sie können in eigener Weise so mit einander lamellar verwachsen, dass in den auf einander folgenden Krystalllamellen nahezu gleiche Richtungen vertauscht und gleichnamige optische Elasticitätsaxen gekreuzt werden. Durch diese Überlagerung tritt Compensation ungleichnamiger optischer Elasticitätsaxen ein, und die Krystalle nähern sich auch in dem optischen Verhalten dem höher symmetrischer Krystalle. Die hierher gehörigen Krystalle verbinden die typisch anomalen mit den mimetischen. Auf sie findet die Mallard'sche Erklärungsweise Anwendung. Das beste Beispiel ist Ferrocyankalium; die Krystalle sind monoklin, zweiaxig mit grossem Axenwinkel, die Form sehr nahe quadratisch. Das Klinopinakoid würde der quadratischen Basis entsprechen, die erste Mittellinie ist zu dieser Fläche senkrecht. Die Individuen verwachsen so mit einander, dass bei gemeinschaftlichem Klinopinakoid das eine gegen das andere fast genau um 90° gedreht ist, so dass die nahezu gleichen Axen *a* und *c* in den benachbarten Individuen vertauscht, und die Ebenen der optischen Axen senkrecht zu einander sind. Hierdurch

nähert sich die Form noch mehr quadratischer Symmetrie, und indem die Individuen sich vielfach überlagern, wird der Axenwinkel kleiner, und stellenweis werden die Krystalle optisch einaxig. Namentlich die dicken, durch Grossbetrieb dargestellten Krystalle verhalten sich optisch ähnlich wie quadratische Krystalle und da früher nur diese untersucht wurden, wurde das Ferrocyankalium lange Zeit für quadratisch gehalten Ausser Ferocyankalium rechnen wir zu dieser Gruppe: Kalkuranglimmer, Ekdemit, Prehnit, die Mineralien der Penningruppe und vielleicht Natrolith.

Die Krystalle der zweiten Abtheilung sind von einer Masse ausgefüllt, die zur Form nicht passt. Ihre Substanz ist dimorph; die eine Modification hat die Form geliefert, die andere füllt sie jetzt aus. Durch Änderung der Temperatur kann aber die zweite Modification in die erste übergeführt werden und Form und optisches Verhalten stehen nun in Einklang. Im allgemeinen ist die neue, jetzt vorliegende Modification gegen die Form der alten gesetzmässig orientirt, und in den bekannten Fällen ist die jetzige Modification weniger symmetrisch, als die erste, deren Form erhalten ist, wenn auch bisweilen deformirt, wie bei Leucit. Das beste Beispiel ist Boracit; seine Form ist regulär, die Masse rhombisch, aber gesetzmässig gegen die Form orientirt; die (erste) Mittellinie ist immer senkrecht zur Richtung von Granatoëderflächen, so dass in jedem Boracitkrystall die Masse, unabhängig von der äusseren Begrenzung, nach sechs unter sich gleichen Richtungen orientirt ist. Durch Erwärmen auf 265° wird Boracit einfachbrechend, also auch nach seinen optischen Eigenschaften regulär; bei dem Abkühlen geht die Substanz wieder in die rhombische Modification über. Die zu dieser Abtheilung gehörigen Krystalle sind erst in den letzten Jahren als dimorph erkannt worden; sie verbinden die anomalen Krystalle mit den Pseudomorphosen, speciell mit den seit längerer Zeit bekannten eigentlichen Paramorphosen. Hierher gehören ausser Boracit: Leucit, die zweifachen Uranyl-Doppelacetate, Tridymit, Cristobalit und Katapleït.

Sehr zahlreich sind diejenigen Krystalle, welche durch innere Spannungen optisch anomal sind; wir unterscheiden zwei Unterabtheilungen:

die, welche durch mechanischen Druck, schnelle Kühlung etc., und die, welche durch isomorphe Beimischung anomal sind.

Die zur ersten Gruppe gehörigen Krystalle besitzen im allgemeinen unregelmässige Doppelbrechung; Feldertheilung ist im ganzen selten (Diamant). Die anomalen Partien sind häufig auf gerade, Spalt- oder Gleitflächen parallel gehende Streifen beschränkt (Steinsalz, Sylvin, Zinkblende), oder sie finden sich in der Umgebung von Einschlüssen (Bleinitrat, Diamant und viele andere), oder solchen Stellen, welche besonders der Einwirkung von mechanischen Kräften ausgesetzt waren (Brucit), bisweilen sind sie unregelmässig in dem ganzen Krystall vertheilt (Diamant); dann zeigen sie im polarisirten Licht dunkle, unregelmässig gekrümmte Banden, welche beim Drehen des Präparates über dasselbe sich hinwinden. Diese Anomalien sind wahrscheinlich meist nach der Entstehung der Krystalle in denselben entstanden. Sie können auch

während der Entstehung auftreten, wenn die wachsenden Krystalle Druckwirkungen ausgesetzt waren (Bleinitrat), oder etwa die Substanz zu Trichitenbildung neigt. Ein gutes Beispiel ist Zinkblende. In einfachbrechender Zinkblende sind häufig doppelbrechende, nach den Flächen des Octaëders und Ikositetraëders $2O2$ (211) verlaufende Streifen zu beobachten; dieselben Flächen haben den Charakter von Gleitflächen und wiederholte Zwillingsbildung nach ihnen ist häufig; sie kann nach unseren Erfahrungen durch den Gebirgsdruck entstanden sein. Ehe die Theilchen in Zwillingsstellung sich umlagern, tritt eine Spannung ein, welche durch Doppelbrechung sich kund giebt; jene doppelbrechenden Streifen sind der Vorbote von Zwillingsbildung. In einfachbrechender Zinkblende kann man durch gelinden Druck sehr leicht doppelbrechende, nach den Octaëderflächen verlaufende Streifen hervorrufen. Zu dieser Gruppe stellen wir: Steinsalz, Sylvin, Salmiak etc., Zinkblende, Bleinitrat z. Th., Diamant, Senarmontit (?), Arsenige Säure; Beryll, Brucit, Eis, Quarz, Überjodsaures Natron; Zirkon, Quecksilberjodid und Leukophan.

Die durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle sind neben den durch Dimorphie anomalen die interessantesten. Die Spannungen in ihnen werden durch Kräfte hervorgerufen, für deren Auftreten wir noch keinen sicheren Grund angeben können. Charakteristisch für sie ist die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung. Am besten tritt dies in regulären Krystallen hervor, weil diese von Natur im normalen Zustand einfachbrechend sind. In den durch isomorphe Beimischung anomalen regulären Krystallen geht von jeder am Krystall vorhandenen Fläche eine Pyramide in das Innere, deren optisches Verhalten von der geometrischen Symmetrie dieser Fläche in auffallender Weise abhängt. Das beste Beispiel hierfür ist Bleinitrat. Während die Krystalle des reinen Salzes einfachbrechend sind, sind die Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat im allgemeinen doppelbrechend. Sie sind einfachbrechend nach den Würfelflächen, doppelbrechend optisch einaxig, positiv nach den Octaëderflächen, doppelbrechend optisch zweiaxig, negativ nach den Pyritoëderflächen. Wenn die Doppelbrechung in ihnen der Ausdruck von inneren Spannungen ist, so müssen die Krystalle gegen Druck in denselben krystallographisch verschiedenen Richtungen sich verschieden verhalten. Der Versuch bestätigt dies; die Krystalle werden durch einseitigen Druck nach den Octaëderflächen negativ, nach den Pyritoëderflächen positiv doppelbrechend. Dies neben anderem gilt uns als Beweis für die Annahme, dass innere Spannungen die Doppelbrechung hervorrufen und diese ihrerseits durch den Eintritt der isomorphen, aber chemisch und physikalisch etwas verschiedenen Substanz entstehen, vielleicht weil das Ausdehnungsvermögen der isomorphen Körper verschieden ist.

Die Alaune gestatten uns besonders einen Einblick in das Zustandekommen des schalenförmigen Baues, der gerade bei anomalen Krystallen sehr häufig ist. Wir sehen, dass dieser durch einen mehr oder weniger starken Wechsel in der Zusammensetzung der Lösung entsteht. Mit der Zusammen-

setzung der Krystalle ändert sich häufig ihre Form, mit dieser die optische Structur und bisweilen der Charakter der Doppelbrechung. Man kann einfachbrechende, doppelbrechende positive und negative Schichten, Schichten, welche optisch sich wie regulär, rhombisch oder triklin verhalten, beliebig über einander fortwachsen lassen. Man bekommt schalenförmig gebaute Krystalle, welche an Mannigfaltigkeit den natürlichen, schalenförmig gebauten Krystallen, von Granat z. B., nicht nachstehen.

Quadratische und hexagonale Krystalle werden durch isomorphe Beimischung anomal zweiaxig; die optische Axe wird zur ersten Mittellinie. Die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung giebt sich dadurch zu erkennen, dass in Platten parallel der Basis die Zahl der zweiaxigen Felder im allgemeinen der Zahl der prismatischen Flächen entspricht. In rhombischen, durch isomorphe Beimischung anomalen Krystallen tritt in den auf einem Pinakoid von den Prismenflächen ausgehenden Feldern gekreuzte Dispersion auf, während die von einem Pinakoid ausgehenden Felder gerade Auslöschung besitzen.

Durch diese Beobachtungen sind wir zu der Ansicht gekommen:

Dass in den durch isomorphe Beimischung anomalen Krystallen durch die Beimischung gewisse Druck- oder Zugkräfte auftreten, welche in den zu vorhandenen Krystallflächen gehörenden Anwachskegeln wirksam sind und nach der geometrischen Symmetrie dieser Flächen das optische Verhalten in dem Bezirk der zugehörigen Anwachskegel ändern.

Durch isomorphe Beimischung anomal sind nach unserer Ansicht: Die Nitrate von Blei, Baryum und auch Strontium, die Alaune, Granat, vielleicht Faujasit, Haüyn, Nosean, Sodalith und Ralstonit; ferner die unterschwefelsauren Salze von Blei, Strontium und Calcium, von Kalium und Rubidium, Chabasit, Turmalin, Apatit, Diadelphit, Jeremejewit (?), Korund z. Th., Pyromorphit und Mimetesit; Vesuvian, Apophyllit, Scheelit (?), Schwefelsaures und chromsaures Natrium-Ammonium, die Seignettesalze und Topas.

Wir haben ferner gesehen, dass das optische Verhalten von wasserhaltigen Krystallen gestört erscheint, wenn diese Wasserverlust erlitten haben, aber auch betont, dass wir solche Krystalle nicht zu den eigentlich optisch anomalen rechnen. In dem schwefelsauren Strychnin haben wir ein solches Beispiel kennen gelernt.

Von dem durch die vorliegenden Untersuchungen gewonnenen Standpunkt wollen wir nun noch einen Blick auf die Mallard'sche Hypothese werfen und sehen, in wie weit sie zur Erklärung der optischen Anomalien der Krystalle herangezogen werden kann.

Ganz in dem Sinne Mallard's findet seine Hypothese nur auf die Krystalle unserer ersten Abtheilung Anwendung, deren Zahl verhältnissmässig gering ist, da nur diejenigen Krystalle hierher zu rechnen sind, deren opti-

sche Eigenschaften durch Ueberlagerung von dünnen Lamellen so schwankend sind, dass man über die wahre Symmetrie derselben in Zweifel sein kann.

Für die durch Dimorphie anomalen Krystalle weicht unsere Anschauung schon von der Mallard's ab.

Mallard meint, die Anordnung der Moleküle im Krystall entspreche der Symmetrie der äusseren Form, die Moleküle selbst aber besässen die Symmetrie, auf welche die optischen Eigenschaften hinweisen; und die bei einer bestimmten, für jede dimorphe Substanz charakteristischen Temperatur eintretende Änderung der optischen Eigenschaften sei eine Folge von Zwillingsbildung. Wir dagegen meinen, bei Bildung der Krystalle habe die Anordnung und Symmetrie der Moleküle, wenn wir diesen Ausdruck einmal beibehalten, in Einklang gestanden und habe der äusseren Form der Krystalle entsprochen, erst mit der Temperatur etc. habe sich dies geändert. Bezüglich des Boracit z. B. ist Mallard der Ansicht, dass die Anordnung der Moleküle im Krystall der regulären Symmetrie entspreche, weil die Form regulär ist, die Moleküle selbst aber rhombische Symmetrie besässen, weil die Krystalle wie rhombische doppelbrechend sind. Die Krystalle seien schon im Moment der Entstehung rhombisch, besässen aber eine Grenzform von regulärer Symmetrie und darum sei die Form regulär. Durch Erwärmen entstünden in den Krystallen Zwillingslamellen, welche um so zahlreicher werden, je höher die Temperatur steigt. Bei 265° würde die Zwillingsverwachsung eine so innige, dass die Krystalle einfachbrechend werden. Wir dagegen sind der Ansicht, die Krystalle seien bei ihrer Bildung nach Form und optischen Eigenschaften regulär gewesen, später aber sei die Substanz innerhalb der regulären Form in die rhombische Modification übergegangen. Bei 265° gehe die Substanz wieder in die reguläre Modification über und sei darum einfachbrechend, nicht aber, weil durch innige Zwillingslamellirung Compensation eingetreten ist (vergl. oben p. 49). Die Auffassung Mallard's wurzelt in seinen Ansichten über die Dimorphie der Substanzen, die wir nicht als allgemein gültig ansehen können.

Auf die grosse Zahl der durch innere Spannungen anomalen Krystalle findet die Mallard'sche Hypothese keine Anwendung. Wenn ich durch Druck in Steinsalz oder Zinkblende dauernde Doppelbrechung hervorrufe, so kann ich mich nicht zu der Ansicht bekennen, ich habe die Substanz an dieser Stelle in die weniger symmetrische Modification, welche sie nach Mallard's Ansicht aufbauen soll, verwandelt, sondern ich kann nur sagen, dass durch den Druck Spannungen entstanden sind, welche Doppelbrechung im Gefolge haben. So wie diese sind alle Fälle, in denen die Anomalien durch mechanischen Druck etc. entstanden sind, Beweise gegen die allgemeine Gültigkeit der Mallard'schen Hypothese.

Für die durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle hat Mallard bis in die neueste Zeit an seiner Ansicht festgehalten, dass Dimorphie vorläge, dass die nach ihrem optischen Verhalten höher symmetrischen Krystalle aus gekreuzten Lamellen der am wenigsten symmetrischen Krystalle aufgebaut

seien. Wir haben diese Anschauung niemals getheilt und die Gründe an verschiedenen Stellen der vorliegenden Abhandlung ausführlich auseinandergesetzt. Abgesehen von vielen andern ist es durch die Mallard'sche Hypothese in keiner Weise zu erklären, dass derselbe Krystall (von Blei- und Baryumnitrat) in gewissen Richtungen einfachbrechend, in andern einaxig positiv, in wieder andern zweiaxig negativ ist. Wenn wir in Gegensatz zu Mallard dies durch Annahme von inneren Spannungen erklären, so finden wir eine Stütze im Experiment, welches zeigt, dass die optischen Eigenschaften der reinen Krystalle (von Bleinitrat) durch Druck in analoger Weise geändert werden, und die Erscheinungen allgemein durch gespannte Gelatine nachgeahmt werden können.

Auf die optisch anomalen Krystalle findet somit die Mallard'sche Hypothese nur eine sehr beschränkte Anwendung; seine Erklärung über das Zustandekommen der Circularpolarisation, welche namentlich in Wyrouboff einen eifrigen Verfechter gefunden hat, konnten wir in keinem einzigen praktischen Falle als zutreffend anerkennen. In dem Vorkommen von zweiaxigen Stellen in circularpolarisirenden Krystallen können wir nach unseren Erfahrungen an hexagonalen und quadratischen, nicht circularpolarisirenden Krystallen keinen Beweis dafür erblicken, dass die Krystalle aus zweiaxigen Lamellen aufgebaut seien und die Circularpolarisation durch Kreuzung solcher Lamellen entstanden sei. Wir haben in den besprochenen Fällen — bei Quarz, dem unterschwefelsauren Blei, dem Strychninsulfat etc. — die vorkommende Zweiaxigkeit als Anomalie erkannt, die Krystalle sind in ihrem normalen Zustand — klarer Bergkrystall, reines unterschwefelsaures Blei, Strychninsulfat mit sechs Molekülen Wasser — optisch einaxig und circularpolarisirend. Hiermit soll nicht gesagt sein, dass in Krystallen Circularpolarisation überhaupt nicht durch Kreuzung von zweiaxigen Lamellen zu Stande kommen könne; ebenso gut, wie in Krystallen durch Kreuzung von zweiaxigen Lamellen Einaxigkeit ohne Circularpolarisation entstehen kann, kann gewiss auch Einaxigkeit mit Circularpolarisation zu Stande kommen, nur ist ein überzeugender Fall aus der Praxis bisher nicht bekannt[1]). Es wird sich wohl noch einmal herausstellen, dass die circularpolarisirenden Krystalle nicht nothwendig aus optisch zweiaxigen Lamellen aufgebaut sein müssen. Wenn wir erst wissen, warum die hexagonalen und quadratischen Krystalle optisch einaxig sind und die optische Axe mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt, werden wir auch erfahren, weshalb nur enantiomorphe Krystalle circularpolarisirend sind, die holoëdrischen nicht. Vielleicht gelingt es einst, die Brewster'schen Ideen über die mechanische Entstehung der Doppelbrechung in den Krystallen als Ausgangspunkt einer Theorie über das Zustandekommen der Doppelbrechung zu nehmen und zu zeigen, dass dieselben Kräfte, welche die Theilchen zu einem regelmässigen Gebilde ordnen, auch die Fortpflanzung des Lichtes direct oder indirect regeln, oder, um mit den Worten Brewster's zu reden, dass

1) Vielleicht ist das in jüngster Zeit von Wyrouboff (Bull. min. XIII. p. 217. 1890) beschriebene schwefelsaure Ammoniak-Lithium ein Beispiel hierfür.

die Kräfte der Doppelbrechung aus den mechanischen Kräften entspringen, durch welche die Moleküle zu starren Körpern vereinigt werden.

Die optischen Anomalien und die Circularpolarisation sind nur zwei Specialfälle, welche durch die Mallard'sche Hypothese ihre Erklärung finden sollen. Das Wesen der Mallard'schen Hypothese liegt in der Erklärung der Dimorphie: die höher symmetrischen Modificationen einer Substanz sollen aus gekreuzten Lamellen von niederer Symmetrie bestehen, welche eine Grenzform besitzen und so innig und regelmässig sich durchdringen, dass durch völlige Compensation der ungleichnamigen optischen Elasticitätsaxen das optische Verhalten der höheren Symmetrie entspricht, ebenso wie hierdurch die Form höher symmetrisch wird. In einem Specialfall besitzen die höher symmetrischen Krystalle Circularpolarisation und bei ungleichmässiger Durchdringung der Lamellen sind sie optisch anomal. Wie wenig die Hypothese zur Erklärung der Circularpolarisation und der optischen Anomalien herangezogen werden kann, haben wir gesehen; in wie weit sie zur Erklärung der Dimorphie zu verwenden ist, haben wir hier nicht zu erörtern; nach unseren Erfahrungen kann sie bis jetzt nur auf wenig Substanzen (z. B. in der Chloritgruppe — Klinochlor, Pennin) Anwendung finden. Ein Fall, in dem die anscheinend höher symmetrische Form optisch sich vollkommen so, wie die höhere Symmetrie verlangen würde, verhält, ist kaum bekannt. Beispiele, welche von manchen hierher gerechnet werden, können auch in anderer Weise erklärt werden. Wenn z. B. Kupferuranglimmer optisch einaxig, quadratisch ist, der ganz analog zusammengesetzte Kalkuranglimmer aber optisch zweiaxig, monoklin mit sehr nahe quadratischen Dimensionen ist und auch durch Zwillingsbildung quadratische Symmetrie noch mehr nachahmen kann, so ist noch nicht bewiesen, dass die normal optisch einaxigen Krystalle des Kupferuranglimmer aus alternirenden gekreuzten Lamellen von optisch zweiaxigem Charakter aufgebaut sind, sondern man kann mit ebenso viel Recht in den Verschiedenheiten eine Art von morphotropischer Wirkung erkennen und annehmen der Kupferuranglimmer sei quadratisch, der Kalkuranglimmer durch die Wirkung des Calciums monoklin. Die Versuche, die Dimorphie allgemein im Sinne der Mallard'schen Hypothese zu erklären, sind bis jetzt nicht geglückt[1]).

Wenn wir nun auf die optischen Anomalien der Krystalle zurückkommen, so müssen wir zugeben, dass auch jetzt in vielen Fällen die Ursache derselben noch nicht bekannt ist, und auch da, wo wir die nächstliegende Ursache mit grösserer oder geringerer Wahrscheinlichkeit angeben können, der letzte Grund uns vielfach noch verborgen ist. Bis wir die letzte Ursache klar erkennen, wird noch geraume Zeit vergehen; es ist besser, dies zuzugeben, als dass man den Schein zu erwecken sucht, es wäre Alles entschieden. Jedenfalls aber können wir soviel mit Bestimmtheit sagen, dass kein Grund vorliegt, in jeder Anomalie das Zeichen niederer Symmetrie zu erblicken. Die Hypothese

---

1) Vergl. G. Wulff, Optische Studien an pseudosymmetrischen Krystallen. Z. Kr. XVII. p. 600—603. 1890.

Mallard's findet auf einige Krystalle Anwendung, ist aber nicht allgemein gültig. In den allermeisten Fällen sind die Erscheinungen, welche man als optisch anomal bezeichnet, für die Krystalle einer Substanz nicht charakteristisch, ihr Auftreten ist von Bedingungen abhängig, die ausserhalb der Substanz liegen; die Anomalien sind der Ausfluss von Störungen des normalen Baues — weiter nichts.

Wer diese Anschauungen theilt, für den ist die Form der anomalen Krystalle keine Maske, unter der niedere Symmetrie sich versteckt, sondern ihr natürliches Gewand. Die Krystalle der höher symmetrischen Systeme stehen denen der weniger symmetrischen ebenbürtig an der Seite und verdanken nicht erst der Existenz dieser ihr Dasein.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel I.

Tafel II.

Tafel III.

Tafel IV.

Seite

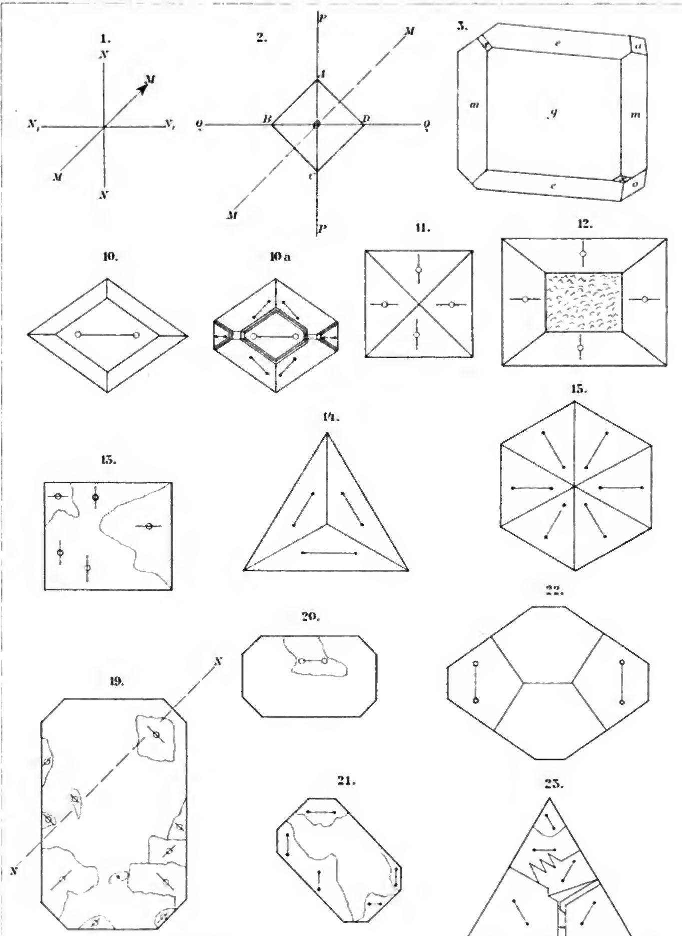
Tafel V.

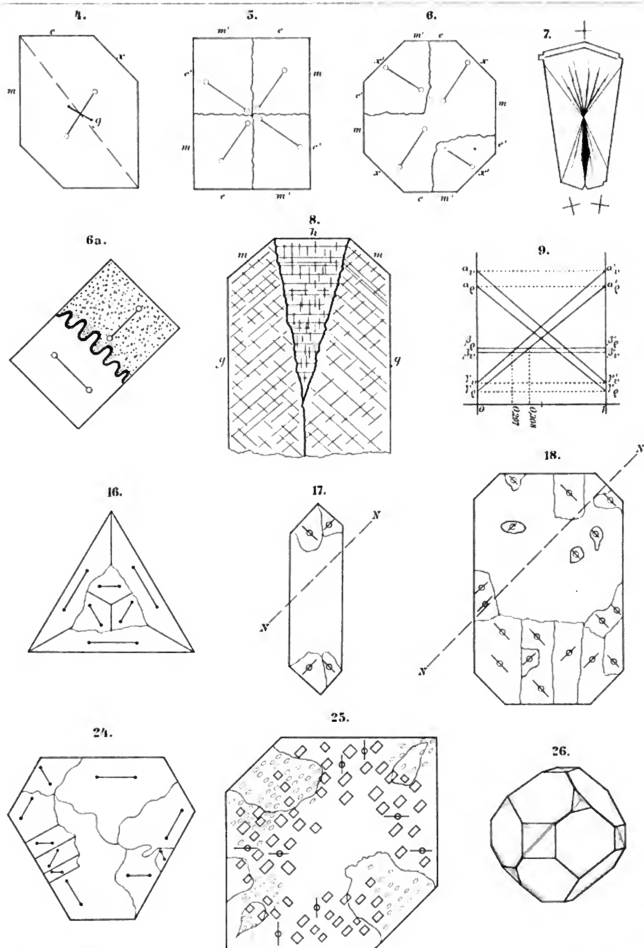
Seite

Tafel VI.

Register.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

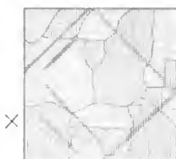

1.
N
M
N_1
N_1
M
N
2.
P
M
A
Q
B
D
Q
C
M
P
3.
e
a
m
g
m
e
o
10.
10 a
11.
12.
13.
14.
15.
19.
N
N
20.
21.
22.
23.


4.
5.
6.
7.
6a.
8.
9.
16.
17.
18.
24.
25.
26.

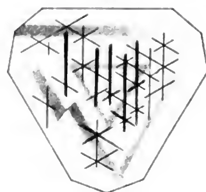
27.



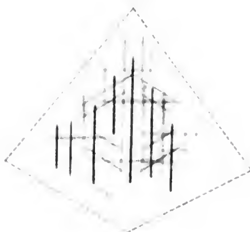
28.



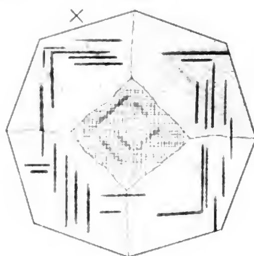
29.



31.



32.



42.



43.



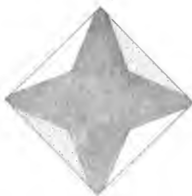
44.



45.



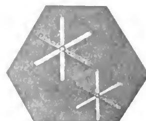
38.



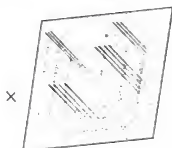
46.



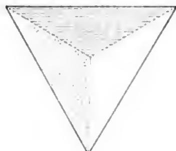
47.



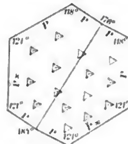
30.



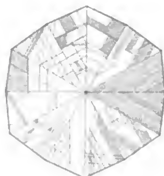
33.



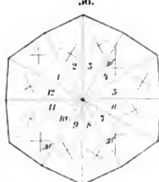
34.



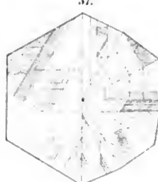
35.



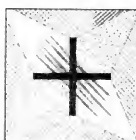
36.



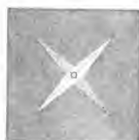
37.



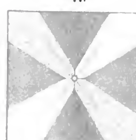
39.



40.



41.



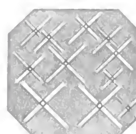
48.



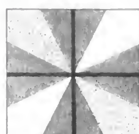
49.



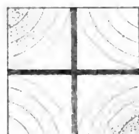
50.



51.



52.



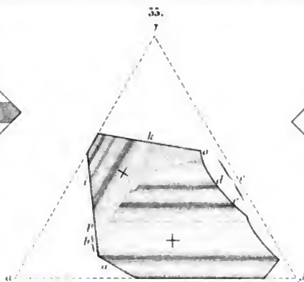
53.



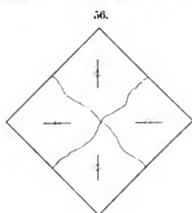
54.



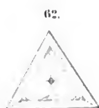
55.



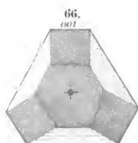
56.



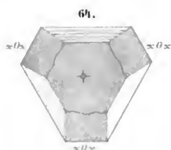
62.



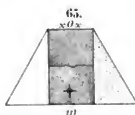
66.



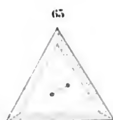
64.



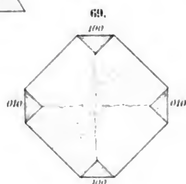
65.



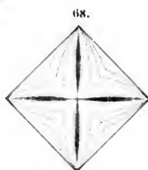
63.



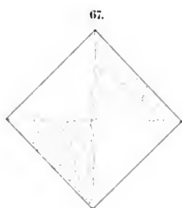
69.



68.



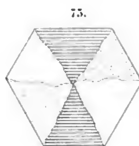
67.



77.



75.



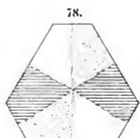
74.

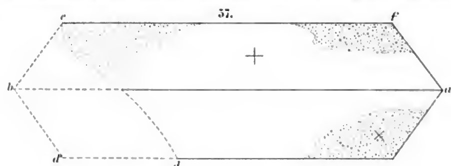


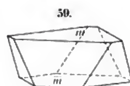
76.

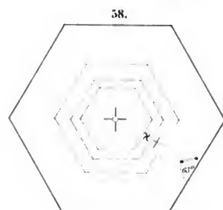


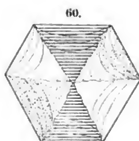
78.

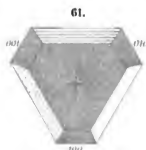


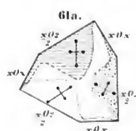

57.
e
f
b
a
d'
d


59.
m
m

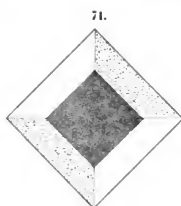

58.

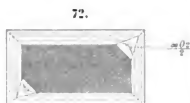

60.

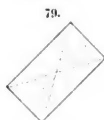

61.
001
010
100

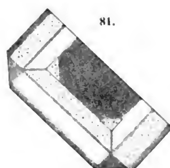

61a.

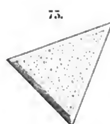

70.
010

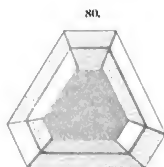

71.

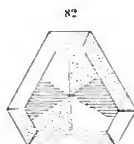

72.

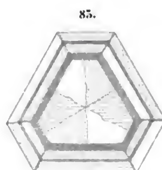

79.


81.

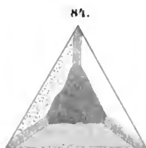

73.


80.

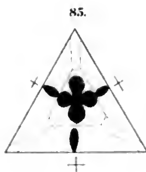

82


83.

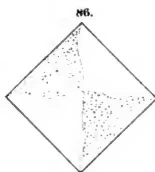
84.



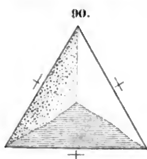
85.



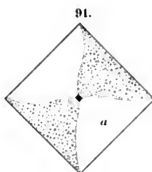
86.



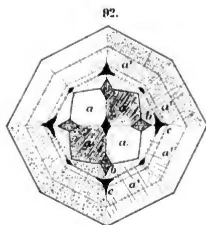
90.



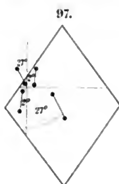
91.



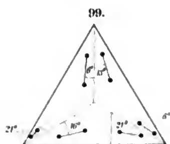
92.



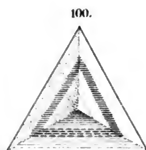
97.



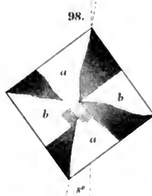
99.



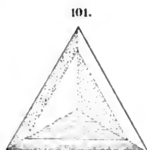
100.



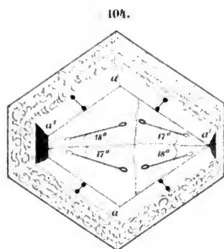
98.



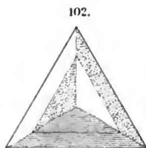
101.



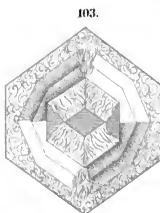
104.



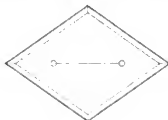
102.



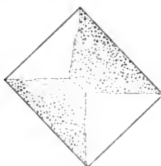
103.



87.



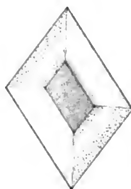
88.



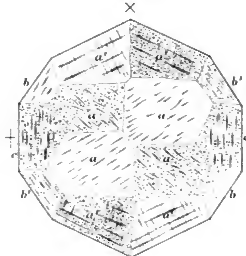
89.



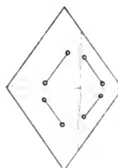
93.



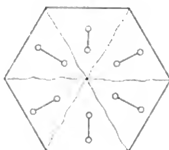
94.



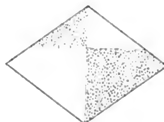
95.



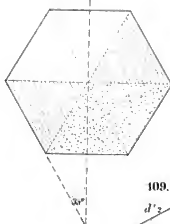
105.



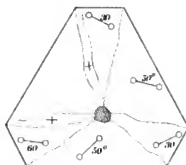
96.



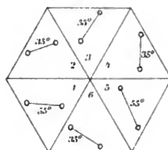
107.



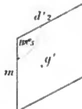
106.



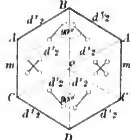
108.



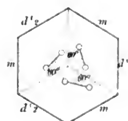
109.

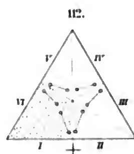


110.

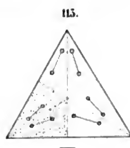


111.

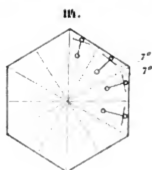




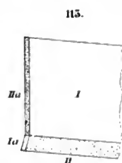
112.



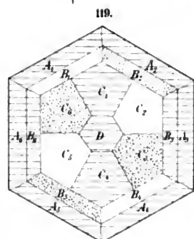
113.



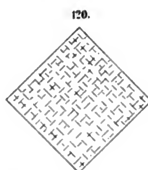
114.

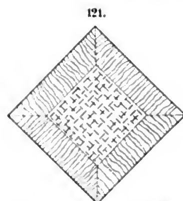


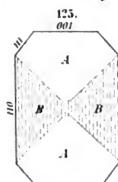
115.



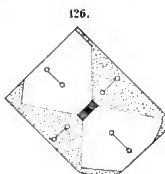
119.

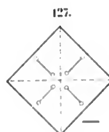

120.


121.

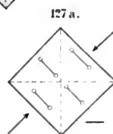


125.

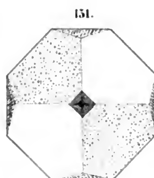

126.

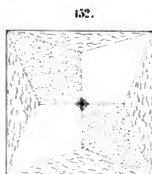


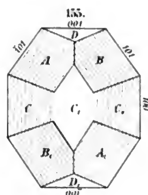
127.



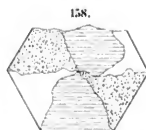
127 a.

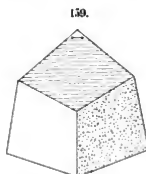

131.

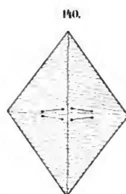

132.



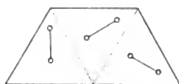
133.


138.

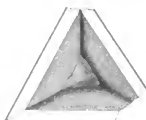

139.


140.

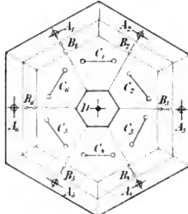
116.



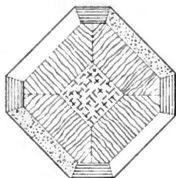
117.



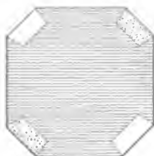
118.



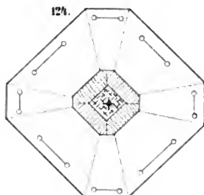
122.



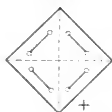
123.



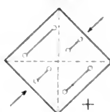
124.



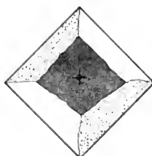
128.



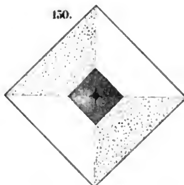
128 a.



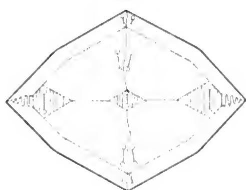
129.



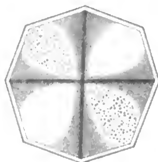
130.



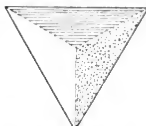
134.



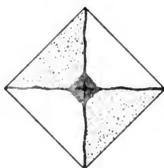
136.



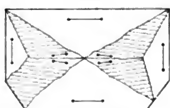
137.



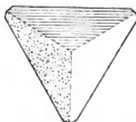
135.



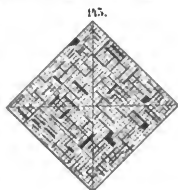
141.



142.



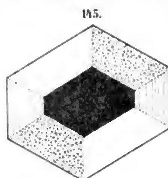
143.



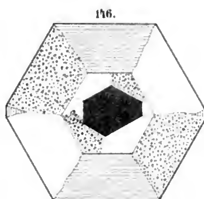
144.



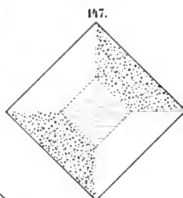
145.



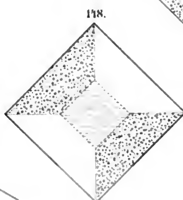
146.



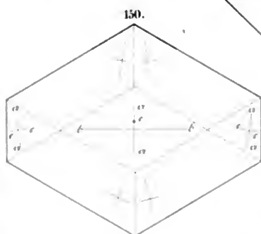
147.



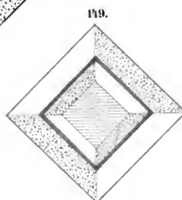
148.



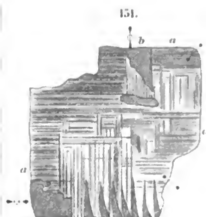
150.



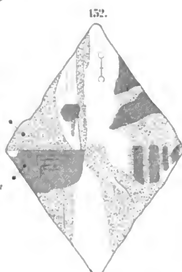
149.



151.



152.



153.



